PHILIPS

CURSUS BEDRIJFSELEKTRONICA

Elektronische componenten

Leerlingboek BS 4

Philips Nederland B.V. - Afd. Onderwijsactiviteiten

Tweede, herziene druk 1976
Zesde druk 1980

161220·4

PHILIPS

CURSUS BEDRIJFSELEKTRONICA

Elektronische componenten

Leerlingboek BS 4

Philips Nederland B.V. - Afd. Onderwijsactiviteiten

Tweede, herziene druk 1976
Zesde druk 1980

161220·4

INHOUDSOPGAVE

b

B 201

D E   H A L F G E L E I D E R D I O D E

HALFGELEIDERS

In deze en een aantal volgende lessen gaan we kennismaken met componenten die men *halfgeleiders* noemt. Men noemt ze zo, omdat ze zijn samengesteld uit halfgeleidende stoffen of kortweg "halfgeleiders".

> Wat is een halfgeleider?
> U weet dat metalen, zoals zilver, koper, zink en ijzer de elektrische stroom goed geleiden.
> Isolators, zoals glas, porcelein en papier geleiden nagenoeg niet.
> De halfgeleiders liggen hier tussenin. Het zijn geen isolators, maar ook geen goede geleiders.

De halfgeleidende materialen die in de elektronica veel gebruikt worden om componenten te vervaardigen zijn *silicium* en *germanium*. Deze materialen worden toegepast in *kristalvorm*. Dit betekent dat zij zeer regelmatig zijn opgebouwd, zoals suikerkorrels, soda, diamant, enz.

Als eerste halfgeleider-component gaan we nu de zogenaamde *halfgeleiderdiode* bespreken, die ook wel kristaldiode wordt genoemd.

SAMENSTELLING VAN EEN HALFGELEIDERDIODE

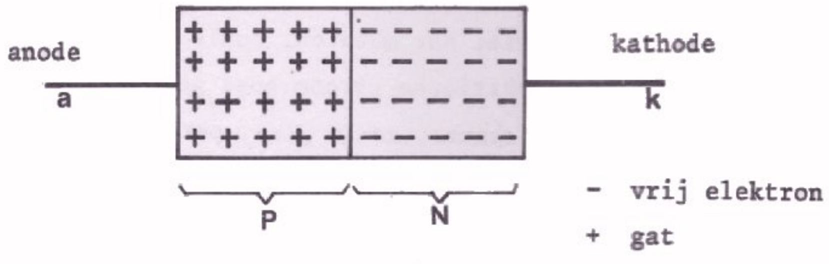
Een halfgeleiderdiode is samengesteld uit twee delen, een N-deel en een P-deel

Het N-deel is verkregen door in een zuiver halfgeleidend materiaal een klein beetje van een andere stof te brengen. Hierdoor bereikt men dat er in dit N-deel een extra aantal vrije elektronen ontstaat. Daaraan dankt dit N-deel dan ook zijn naam; het bevat extra Negatieve deeltjes die zich gemakkelijke kunnen verplaatsen.

Het P-deel is ook verkregen door aan het zuiver halfgeleidend materiaal een klein beetje van een andere stof toe te voegen. Nu ontstaan er echter plaatsen waar een elektron zou kunnen zitten, zogenaamde *gaten*.
De gaten hebben een positieve lading. Men spreekt er vaak over alsof het een soort elektronen zijn, alleen met een Positieve lading. Hieraan dankt het P-deel zijn naam.
Gaten kunnen evenals elektronen door de stof bewegen en voor stroomgeleiding zorgen.

Vergelijk de gaten met een lege plaats in een bioscoop of op een tribune van een sportveld. Als de mensen gaan verzitten is het net alsof de lege plaats beweegt.

Hieronder is een halfgeleiderdiode schematisch en sterk vergroot

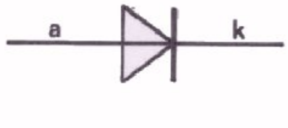


De P-zijde van het kristal noemt men de *anode*.
De N-zijde heet de *kathode*.

CODELETTER

In schema's wordt de diode met de codeletter V aangegeven.

SCHEMASYMBOOL

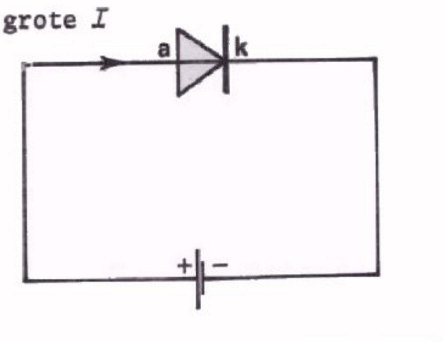


Hier is het schemasymbool van een halfgeleiderdiode. De pijl wijst van anode naar kathode.

GEDRAG VAN EEN DIODE

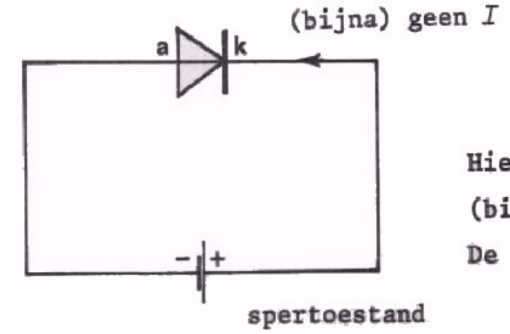
In het voorafgaande is in het kort iets gezegd over de opbouw van de halfgeleiderdiode. Veel interessanter is hoe zo'n diode zich gedraagt. Daardoor wordt namelijk bepaald wat men er mee kan doen.

Heel in het kort kan men zeggen dat een diode werkt als een ventiel. Een ventiel van een autoband b.v. laat in de ene richting wel lucht door, maar in de andere niet.
Een diode laat in de ene richting gemakkelijk elektrische stroom door, maar in de andere richting (bijna) niet.



doorlaattoestand

Hier is het geval weergegeven van een diode waarvan de anode aangesloten is op de + kant van een batterij en de kathode op de − kant. Er loopt een elektrische stroom van anode naar kathode, in de richting van de "pijl" van het diodesymbool. De diode staat in de *doorlaattoestand.*



spertoestand

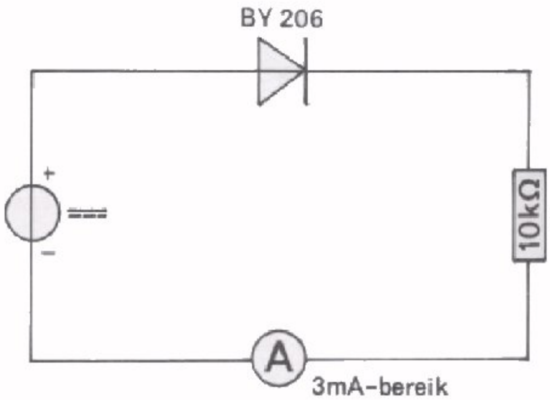
Hier is de batterij omgepoold. Er loopt (bijna) geen stroom door de diode.
De diode verkeert in de *spertoestand*.

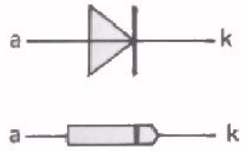
PRAKTISCHE OPMERKING:

Sluit *nooit* een spanningsbron direct in doorlaatrichting op een diode aan! De toelaatbare doorlaatspanning is nogal klein. Als men hem maar even iets te hoog maakt, gaat de diode vééL te veel stroom voeren en gaat daardoor kapot. Sluit daarom de spanningsbron slechts in serie met een weerstand op een diode aan.

Aan de hand van enkele opdrachten gaan we het gedrag van de diode nu zelf ervaren.

OPDRACHT: "HET GELIJKSTROOMGEDRAG VAN EEN DIODE".



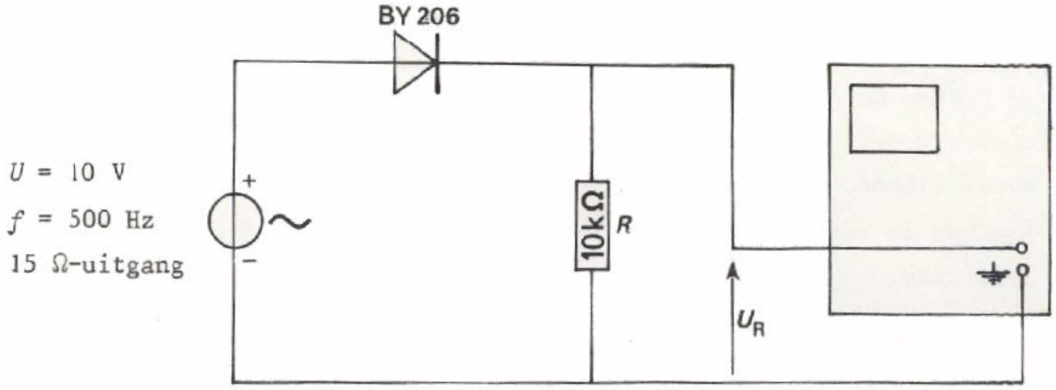


- Bouw deze schakeling.
  Let erop dat de + kant aan de anode van de diode wordt aangesloten.
- Voer een gelijkspanning van circa 10 V toe.
  U ziet dat de diode de stroom goed doorlaat.
  De stroom door de schakeling $I \approx \frac{U}{R} = \frac{10}{10\ 000}$ A = 1 mA.
- Sluit de spanningsbron nu andersom aan. Verwissel ook de aansluitingen van de stroommeter. De anode van de diode ligt dan aan de − kant van de spanningsbron. U ziet dat er nu (nagenoeg) geen stroom loopt; "de diode spert".

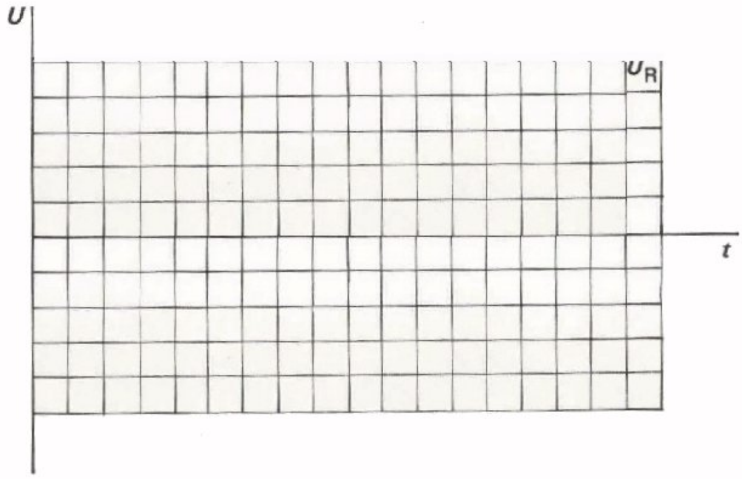
CONCLUSIE

De diode laat in de richting van anode naar kathode de stroom zeer gemakkelijk door. Zijn weerstand R_V is nagenoeg nul. In tegengestelde richting is de stroomdoorgang zeer moeilijk. R_V is dan zeer groot.
We hebben achtereenvolgens een positieve en een negatieve gelijkspanning tussen anode en kathode aangesloten. Nu gaan we een wisselspanning aansluiten, die dus telkens van polariteit wisselt.

OPDRACHT: HET "WISSELSTROOM-GEDRAG" VAN EEN DIODE.



- Bouw deze schakeling en maak de spanning over *R* zichtbaar op het scherm van de oscilloscoop. Zet de "AC-0-DC" knop in de stand "DC".
- Teken hieronder het verloop van de spanning over *R* zoals u die op het scherm ziet.



CONCLUSIE

U ziet dat de diode stroom doorlaat gedurende één periodehelft en de stroom spert gedurende de andere periodehelft.

Bij deze laatste proef zien we al een nuttige toepassing van de diode. Het blijkt namelijk mogelijk een wisselspanning om te zetten in een pulserende gelijkspanning. Men noemt dit *gelijkrichten.*

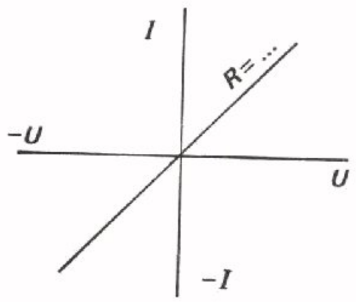
VRAAG Waarom moet de oscilloscoop voor het doorlaten van gelijkspanning geschikt zijn?

Antwoord:____

DE KARAKTERISTIEK VAN EEN HALFGELEIDERDIODE

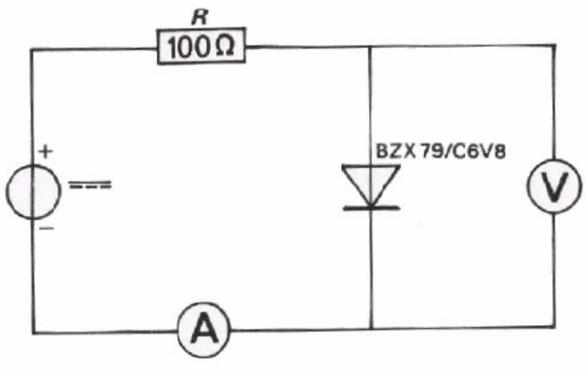
We hebben nu enige ervaring met een diode en gaan hem vervolgens wat preciezer onderzoeken. Hiertoe bepalen we hoe groot de diodestroom I_V is bij verschillende diodespanningen U_V. Het verband tussen stroom en spanning kan men in een grafiek uitzetten. Zo'n grafiek noemt men de diode-*karakteristiek*.

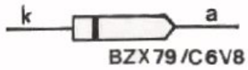
Het is niet voor het eerst dat we het begrip "karakteristiek" tegenkomen. Ook bij een weerstand noemt men het verband tussen stroom en spanning de karakteristiek. Bij een gewone weerstand is dit verband een rechte lijn in het eerste en derde kwadrant.



De karakteristiek van een halfgeleiderdiode gaan we achtereenvolgens in de doorlaat- en in de sperrichting meten.

OPDRACHT: "METEN VAN DE DIODEKARAKTERISTIEK".





- Bouw deze schakeling met de diode BZX79/C6V8.
- Meet de diodespanning bij die stroomwaarden, die in de bovenste tabel op het volgend blad staan. Vul de gevonden waarden in de tabel in.
- Teken de doorlaatkarakteristiek met behulp van de gevonden waarden in de grafiek.
- Vervolgens gaan we de diode-karakteristiek meten in de spertoestand. We keren de diode in de schakeling om, zodat nu de kathode aan de + kant komt. Meet de spanning over de diode bij de in de onderste tabel hieronder gegeven stroomwaarden.
- Constateer dat de diodesperstroom voor de lage - U_V-waarden (beneden 6 V) voor deze meetopstelling praktisch onmeetbaar klein is.
- Teken de sperkarakteristiek met behulp van de gevonden waarden in de grafiek.

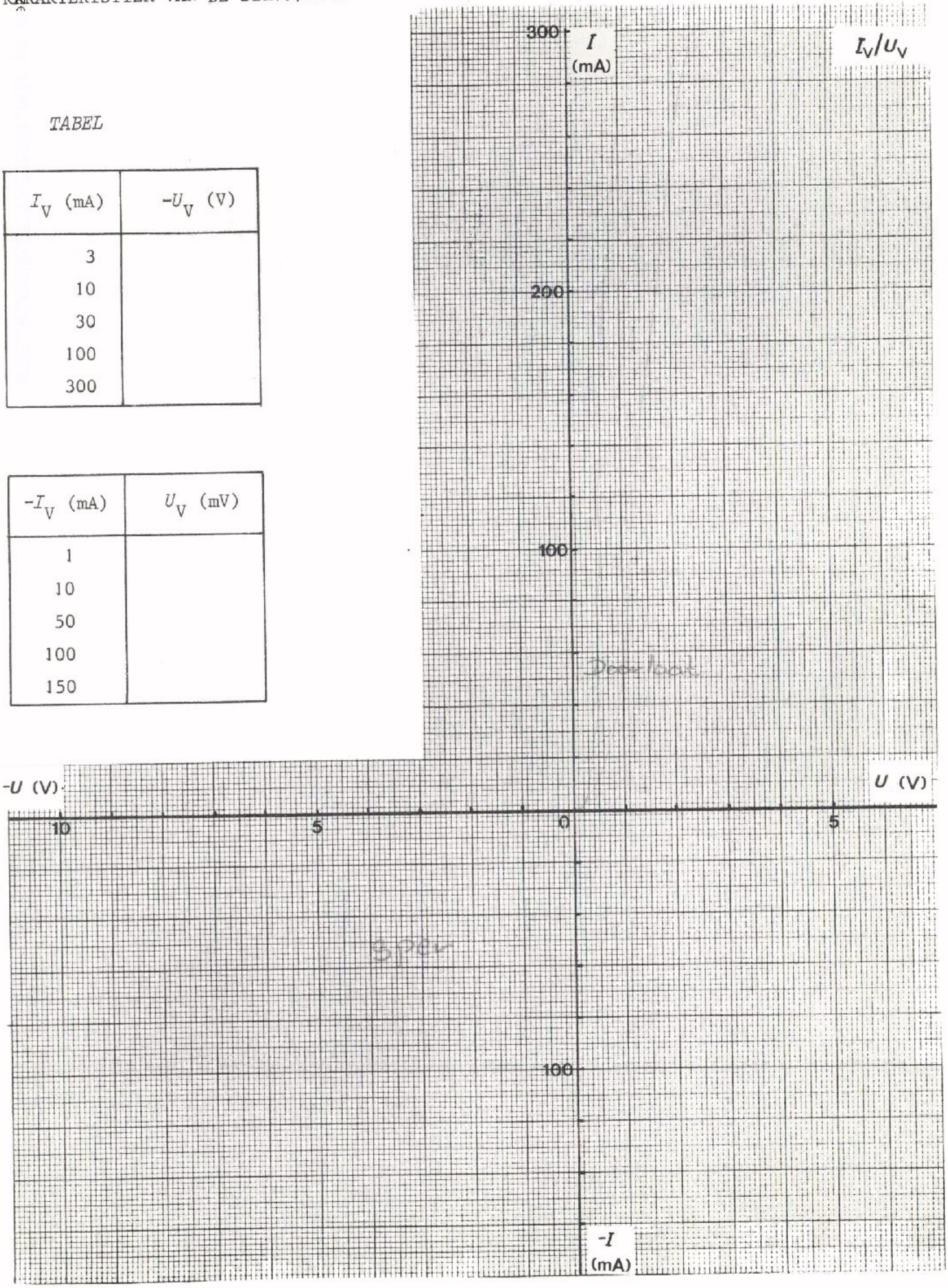
OPMERKING De stroom- en spanningswaarden zijn in de spertoestand tegengesteld aan die in de doorlaattoestand. Men zou deze waarden dus met een minteken aan moeten duiden. Om al deze mintekens te vermijden zet men bij de assen van de sperkarakteristiek $-I$ en $-U$ uit.

KARAKTERISTIEK VAN DE BZX79/C6V8 IN DE DOORLAAT- EN DE SPERRICHTING.

TABEL

I_V (mA)	$-U_V$ (V)
3	
10	
30	
100	
300	

$-I_V$ (mA)	U_V (mV)
1	
10	
50	
100	
150	

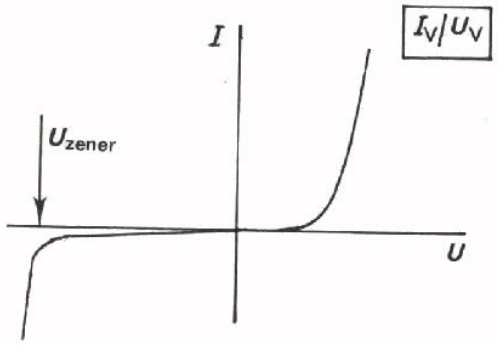


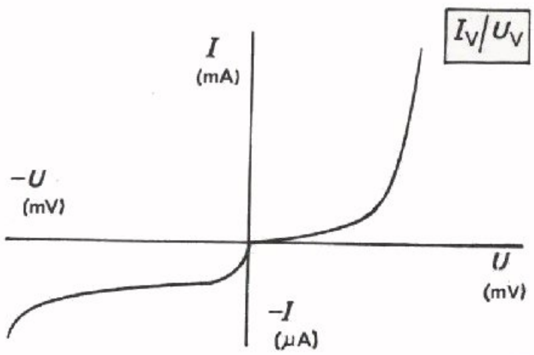
NADERE BESCHOUWING VAN DE DIODE-KARAKTERISTIEK

Op het vorig blad hebt u de karakteristiek van de BZX79/C6V8 getekend. Bekijken we deze karakteristiek dan valt het volgende op.

- In de doorlaatrichting is de karakteristiek gekromd. Men spreekt van een *niet-lineaire* karakteristiek. Verder zien we dat de diode pas flink stroom doorlaat vanaf ongeveer 0,7 V.
- In de sperrichting loopt de karakteristiek aanvankelijk vlak onder de $-U_V$-as. Bij ongeveer 7 V blijkt hij scherp om te buigen naar hoge waarden van de sperstroom.

  De waarden van de spanning waarbij dit geschiedt noemt men de *zenerspanning.*



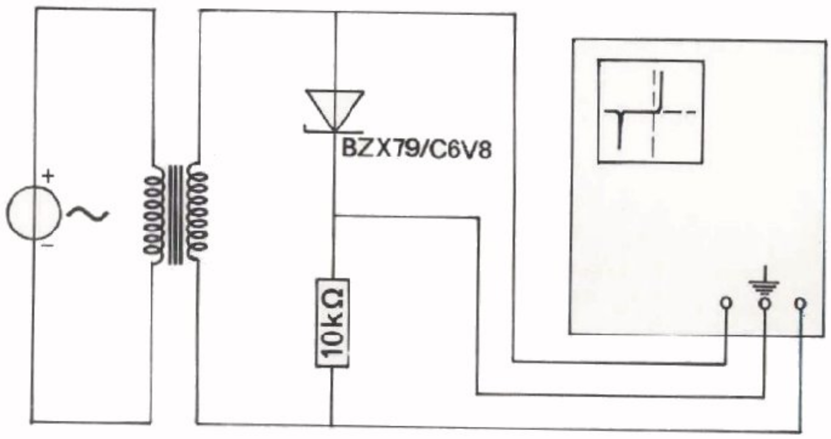


De totale karakteristiek van een diode (de doorlaat- en de sperkarakteristiek samen dus) is één vloeiende lijn zonder knikken.
In de doorlaatrichting heeft men echter met veel grotere stromen en veel kleinere spanningen te maken dan in de sperrichting.
Men kiest daarom de schalen voor de doorlaat- en sperkarakteristiek geheel anders. Hierdoor ontstaat bij de oorsprong van de grafiek een knik zoals in nevenstaande figuur.

OPDRACHT: ZICHTBAAR MAKEN VAN DE DIODEKARAKTERISTIEK

In deze opdracht gaan we de totale karakteristiek van een diode op het scherm van een oscilloscoop zichtbaar maken. Dit doen we door een wisselspanning toe te voeren aan de serieschakeling van een weerstand en een De variërende spanning over de diode U_V voeren we naar de X-ingang van de oscilloscoop. De variërende spanning over de weerstand R is evenredig met de stroom door de diode. Deze spanning $R.I_V$ voeren we naar de Y-ingang van de oscilloscoop.
Op deze manier wordt in de X-richting de diodespanning en in de Y-richting de diodestroom geschreven, zodat de grafiek van U_V en I_V op het scherm verschijnt.

Doordat het aardpunt van de oscilloscoop op het knooppunt van de diode en de weerstand wordt aangesloten, ontstaat op het scherm de karakteristiek "onderste boven".



- Bouw deze schakeling.
- Stel de oscilloscoop in op: X-DEFL.: "EXT"
  Y-AMPL.: "2 V/div:
  0-AC-DC: "DC".
- Voer via een soldeer-transformator een wisselspanning toe $U_{eff} = 3$ V (tussen de aansluitingen "6 V" en "9 V") bij $f \approx 50$ Hz.

U ziet nu de diodekarakteristiek "onderste boven" op het scherm.

- Vergroot de toegevoerde wisselspanning tot $U_{eff} = 6$ V. U ziet nu ook het deel van de karakteristiek waarin de zenerspanning valt.

SOORTEN HALFGELEIDERDIODES

Er zijn twee soorten halfgeleiderdioden. Siliciumdioden en germaniumdioden. Men vindt dit terug in de codering. Is de eerste letter van de codering een:

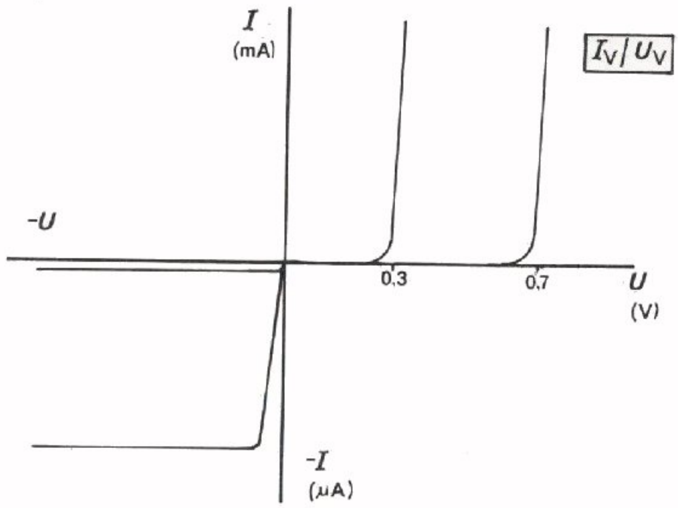
A, betekent germaniumdiode,

B, betekent siliciumdiode.

Op de codering van halfgeleiderdioden komen we nog terug.

De karakteristiek die we gemeten hebben is dus die van een siliciumdiode.

De verschillen tussen germanium- en siliciumdioden komen het best tot uitdrukking in volgende karakteristieken.



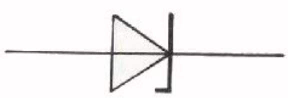
Siliciumdioden hebben voor een stroom van circa 1 mA een spanning nodig van 0,7 V; Germaniumdioden circa 0,3 V.

De sperstroom is bij silicium veel kleiner dan bij germanium.

Bij germanium enige tientallen µA en bij silicium veel kleiner dan 1 µA.

Bovenstaande karakteristieken bereiken in de sperrichting geen van beide de zenerspanning. Bij de BZX79 waaraan we gemeten hebben lag de zenerspanning veel lager.

Het is een diode die speciaal zo gemaakt is. Deze zogenaamde *zenerdioden* worden veel toegepast. We gaan daar verderop nader op in. Er is zelfs een speciaal schemasymbool voor een zenerdiode, zie hiernaast.

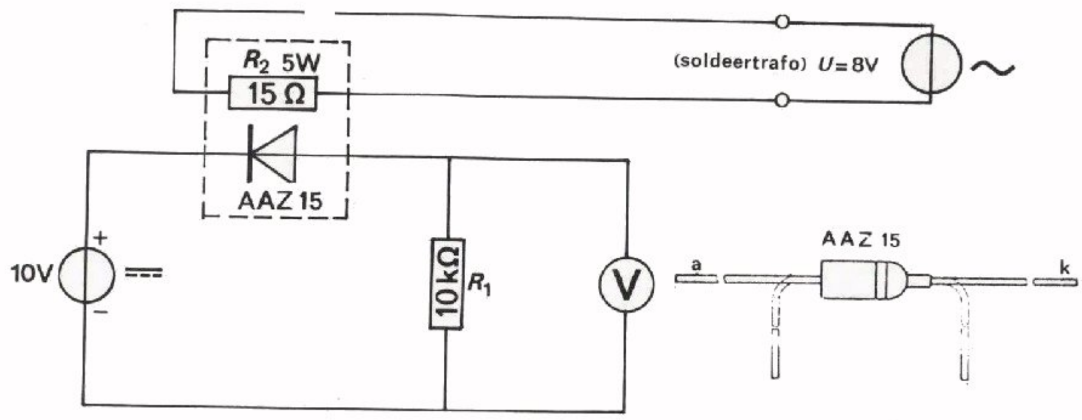


DE TEMPERATUURAFHANKELIJKHEID

In het begin van deze les hebben we gezien dat een halfgeleiderdiode bestaat uit een P- en een N-deel. In het P-deel geschiedt de stroomgeleiding in hoofdzaak door "beweeglijke + ladinkjes", de zogenaamde "gaten", en in het N-deel door "beweeglijke - ladinkjes", de zogenaamde "vrije elektronen". Als nu de temperatuur van de diode toeneemt, dan neemt het aantal beweeglijke ladinkjes ook toe. Bij stijging van de temperatuur gaat zowel het P- als het N-deel beter geleiden. Het gevolg is dat de sper- zowel als de doorlaatstroom toeneemt.

Deze afhankelijkheid van de temperatuur gaan we in een paar opdrachten bekijken.

OPDRACHT: "$-I_V$ HANGT AF VAN DE TEMPERATUUR."

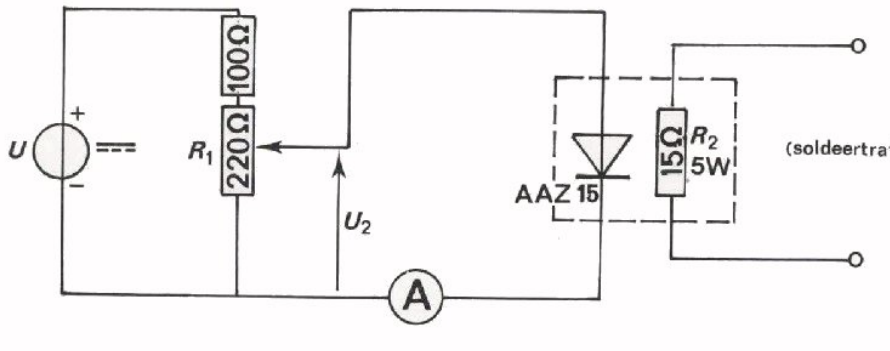


- Bouw deze schakeling en voer een spanning toe van 10 V.
- Bepaal de sperstroom $-I_V$ door de spanning te meten over de bekende weerstand van 10 kΩ.

$-I_V$ = [μA]

- Verwarm de diode met de opwarmweerstand R_2.
  U ziet de meter nu verder uitslaan; $-I_V$ neemt toe.
- Schakel de opwarmweerstand weer uit!

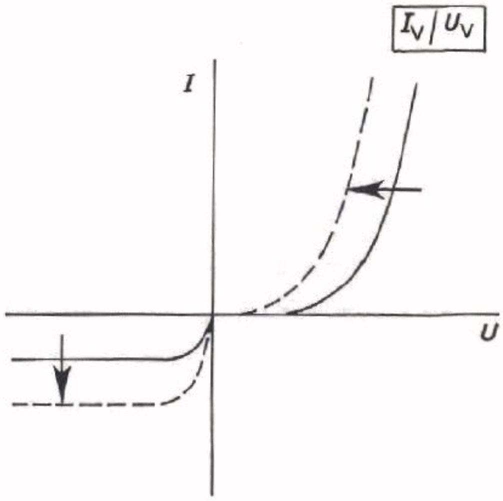
OPDRACHT: OOK $+I_V$ HANGT AF VAN DE TEMPERATUUR.



- Bouw deze schakeling.
- Stel U in op 12 V.
- Regel met de potentiometer U_2 langzaam op, totdat de stroommeter ongeveer 15 mA aanwijst.
- Verwarm de diode met behulp van de opwarmweerstand R_2.
  U ziet de stroommeter weer verder uitslaan; I_V neemt toe.
- Schakel de opwarmweerstand weer uit!

CONCLUSIE

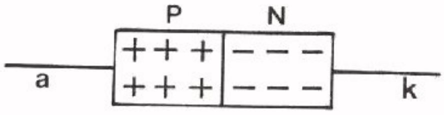
Uit deze laatste twee opdrachten blijkt dat de sper- zowel als de doorlaatkarakteristiek bij verhoging van de temperatuur van de U_V-as afschuift. Dit is in de figuur hiernaast tot uitdrukking gebracht. De sperkarakteristiek schuift *omlaag*. Omdat de doorlaatkarakteristiek bij de normaal toegepaste stroomschaal voor lage U_V-waarden praktisch samenvalt met de U_V-as, kan men beter zeggen: de doorlaatkarakteristiek schuift *naar links* als de temperatuur stijgt.



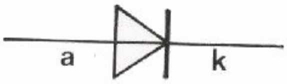
Uit deze verschuiving van de doorlaatkarakteristiek blijkt dus dat bij een hogere temperatuur minder spanning nodig is om een bepaalde doorlaatstroom te bereiken.
Men geeft voor germaniumdioden op dat U_V ongeveer 2 mV per ^{0}C vermindert om dezelfde doorlaatstroom te veroorzaken. Bij siliciumdioden is dit bedrag circa 3 mV per ^{0}C.

SAMENVATTING

Een halfgeleiderdiode bestaat uit een *germanium*- of *silicium*-kristal. Zo'n diode heeft een P-deel, waarin de geleiding plaatsvindt door beweeglijke Positieve ladinkjes, de z.g. *gaten*. Verder is er een N-deel, waarin de geleiding geschiedt via beweeglijke Negatieve ladinkjes, de *vrije elektronen*.

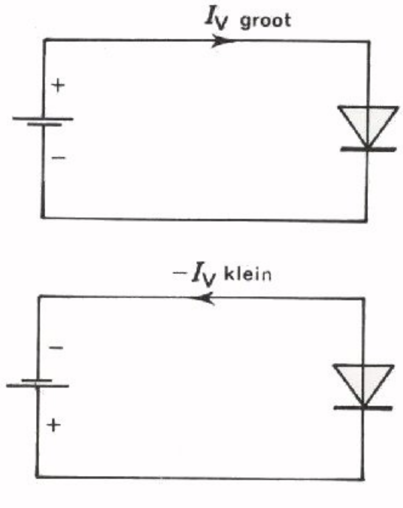


De P-zijde van een diode noemt men *anode* en de N-zijde *kathode*.

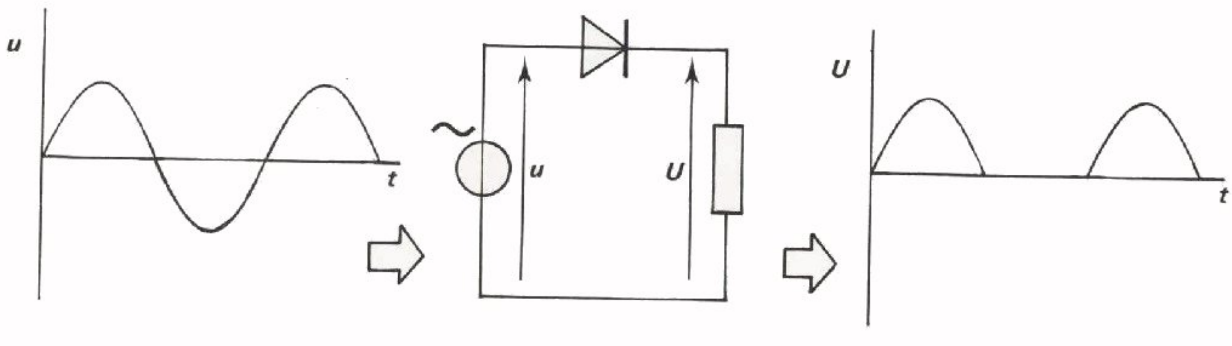


Dit is het symbool van een halfgeleiderdiode. De richting van de doorlaatstroom is van anode naar kathode, dus in de richting van de pijl.

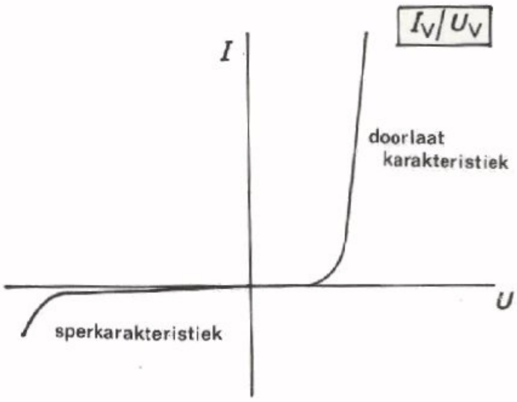
Een diode werkt als een ventiel. Van anode naar kathode laat de diode gemakkelijk een grote *doorlaatstroom* I_V door. Van kathode naar anode laat de diode slechts een zeer kleine stroom $-I_V$ door, de *sperstroom*. De diodespanning geeft men aan als U_V in de doorlaatrichting en als $-U_V$ in de sperrichting om negatieve getallen langs de as te vermijden.



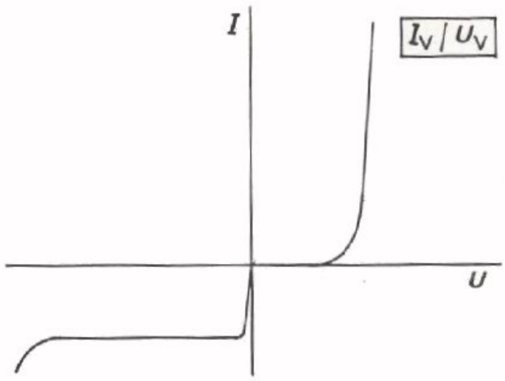
Dankzij de "ventielwerking" kan men een diode gebruiken om *gelijk te richten*.



De eigenschappen van een diode komen het beste uit de verf in de z.g. *diode-karakteristiek*

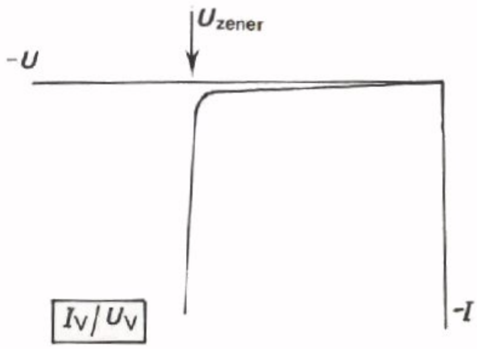


Hier is de volledige diode-karakteristiek gegeven. De doorlaat- en sperkarakteristiek zijn in één figuur getekend op dezelfde schaal. De grafiek verloopt vloeiend zonder knikken.

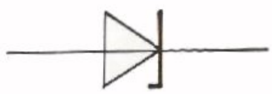


De doorlaatstroom en -spanning en de sperstroom en -spanning hebben zeer verschillende waarden.
Men tekent de doorlaat- en de sperkarakteristiek daarom wel op een geheel andere schaal. Dit geeft dan een knik in de oorsprong van het assenstelsel.

Bij een bepaalde waarde van de sperspanning buigt de karakteristiek af. Dan neemt de $-I_V$ sterk toe.
De sperspanning waarbij dit gebeurt noemt men de *zenerspanning*.

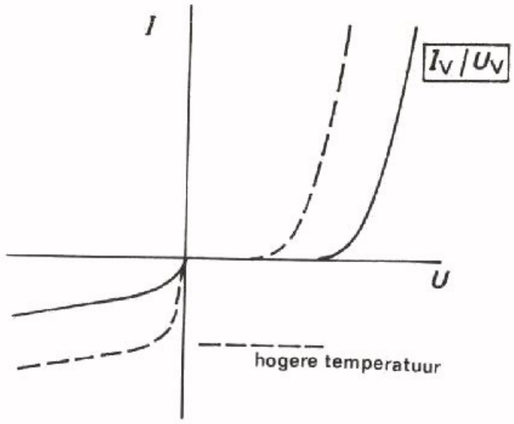


Een bijzonder soort dioden vormen de z.g. *zenerdioden*.
Het bijzondere ervan is, dat de zenerspanning veel lager ligt dan bij de normale dioden.
Zenerdioden hebben nevenstaand schemasymbool.



Halfgeleiderdioden vertonen een vrij sterke afhankelijkheid van de temperatuur.
De karakteristiek schuift op als in nevenstaande figuur:

- de sperkarakteristiek schuift naar beneden.
- de doorlaatkarakteristiek schuift naar links.



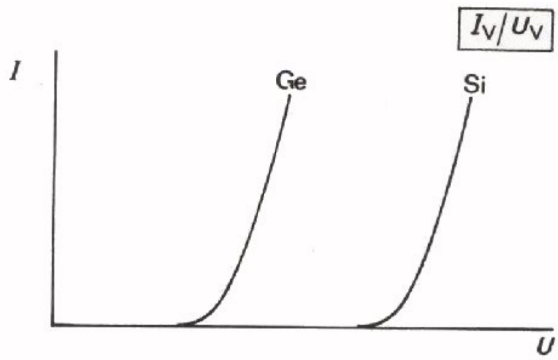
Men past als halfgeleidermateriaal bij dioden zowel *germanium* als *silicium* toe.
De codering van germaniumdioden begint met A en die van siliciumdioden met B.
De voornaamste verschillen tussen germanium en siliciumdioden zijn de volgende:

Ge-diode

de doorlaatstroom I_V begint vanaf U_V = 0,3 sterk toe te nemen.

Si-diode

de doorlaatstroom I_V begint vanaf U_V = 0,7 V sterk toe te nemen.



De sperstroom is bij kamertemperatuur slechts enige tientallen µA.

De sperstroom is bij kamertemperatuur veel kleiner dan 1 µA.

NAAM: ________ KLAS: ________

OEFENINGEN

1. Hieronder staat een lijst materialen. Zet achter elke isolator een kruisje en achter elke halfgeleider een streepje.

koper ________
silicium ________
papier ________
tin ________
olie ________
aluminium ________
glas ________
germanium ________

2. Waarom mag men de doorlaatspanning van een diode niet zeer hoog maken?

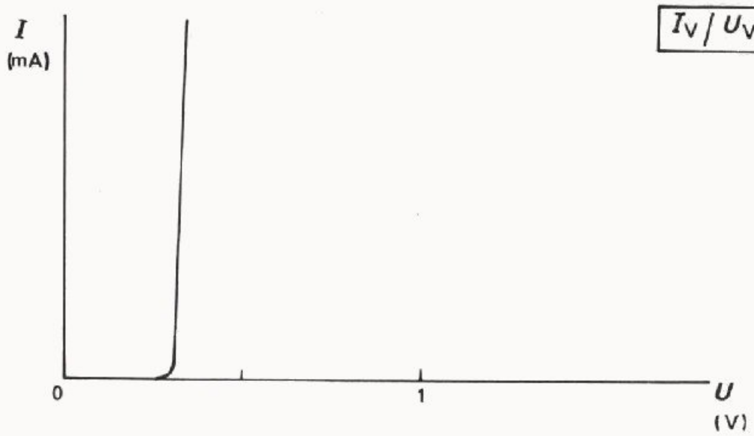
____
____
____
____
____

3. Teken het symbool van een zenerdiode. Geef kathode en anode aan.

4. In een schakeling komt een diode voor met codering AYY 10. Is het een silicium- of een germaniumdiode?

____
____
____
____
____
____
____
____

5.



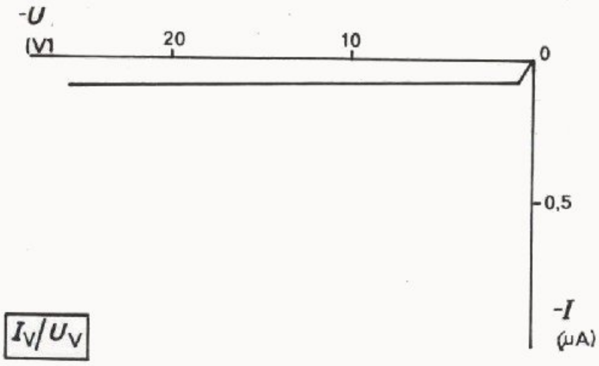
I_V / U_V

Streep de foutieve antwoorden door.

Dit is de **doorlaat/sper** karakteristiek van

een **silicium/germanium** diode.

6.

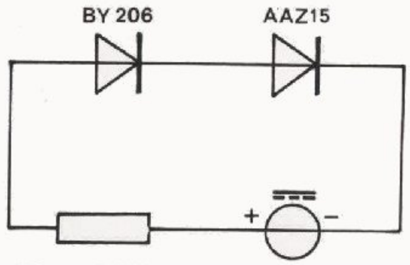


I_V/U_V

Dit is de **doorlaat/sper** karakteristiek van een

silicium/germanium diode.

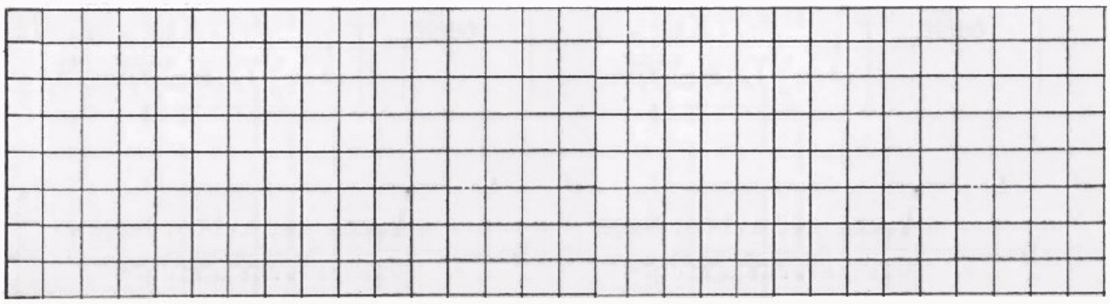
7.



Over welke diode staat de grootste spanning?

Over de

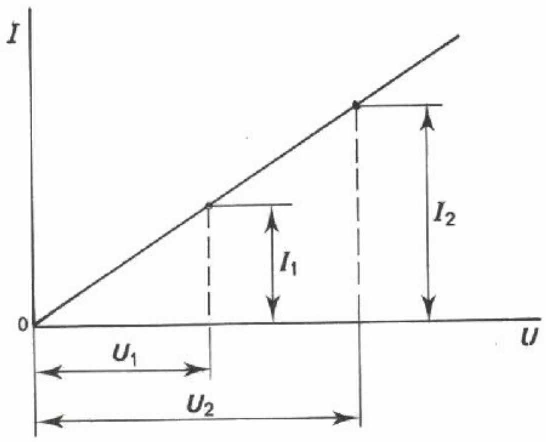
Waarom?



B 202

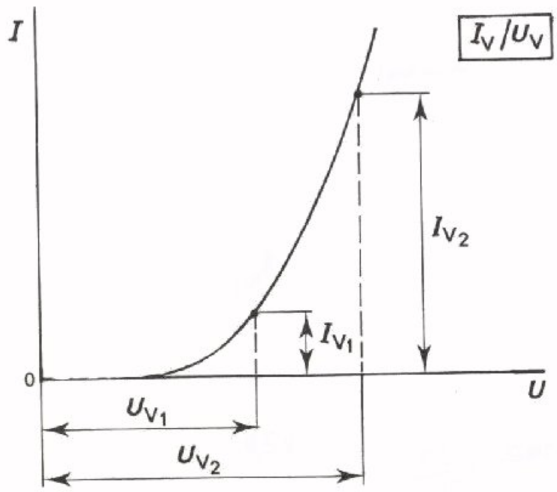
DE DYNAMISCHE KARAKTERISTIEK

LINEAIRE EN NIET-LINEAIRE COMPONENTEN



Zet men voor een normale weerstand het verband uit tussen de spanning U over die weerstand en de stroom erdoor, dan ontstaat een *rechte* lijn door de oorsprong.
De stroom-spanningskarakteristiek is hier een rechte lijn en daarom heet een weerstand een *lineaire* component.
De weerstandswaarde is steeds dezelfde:

$$R = \frac{U_1}{I_1} = \frac{U_2}{I_2} \text{ is constant}$$

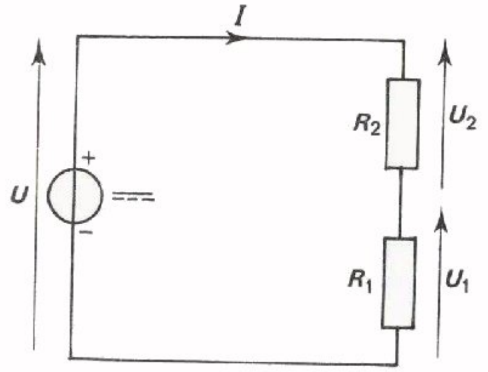


Is de grafiek van I en U bij een component *niet recht*, dan spreken we van een *niet-lineaire* component.
Een voorbeeld is de halfgeleiderdiode, waarvan de karakteristiek gebogen is.
De inwendige weerstand R_i van de component is dan niet constant.

$$\frac{U_{V_1}}{I_{V_1}} \neq \frac{U_{V_2}}{I_{V_2}}, \text{ zodat:}$$

$$R_i = \frac{U_V}{I_V} \text{ is niet constant}$$

MOEILIJKHEDEN BIJ NIET-LINEAIRE COMPONENTEN

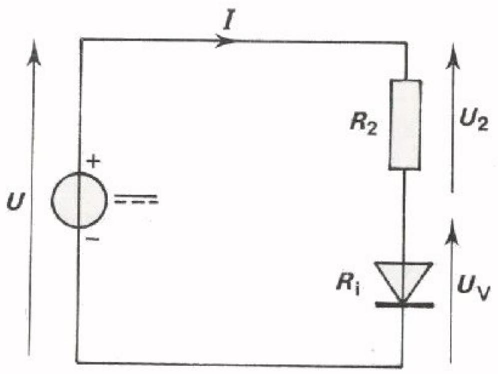


Als we twee weerstanden R_1 en R_2 (twee lineaire componenten dus) in serie aansluiten op een spanningsbron, dan zijn de stroom I en de deelspanningen U_1 en U_2 gemakkelijk te berekenen.

$$I = \frac{U}{R_{tot}} = \frac{U}{R_1 + R_2}$$

$$U_1 = R_1 I \text{ en } U_2 = R_2 I.$$

Vervangt men een van de weerstanden door een diode, dan is de berekening van de stroom en de deelspanningen niet meer mogelijk. Immers, we hebben nu te maken met een niet-lineaire component en die heeft een weerstand R_i die afhangt van de stroom en spanning. Men zegt, dat R_i afhankelijk is van de *instelling*. Deze instelling is nog onbekend.



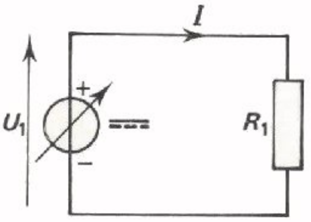
Wat nu? Hoe kunnen we in zo'n geval toch de stroom en de deelspanningen te weten komen? Dit kan langs grafische weg door middel van de zogenaamde *dynamische karakteristiek* van de niet-lineaire en lineaire component samen.

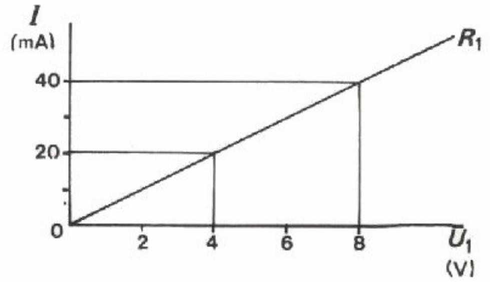
Deze methode gaan we nu behandelen.

DE DYNAMISCHE KARAKTERISTIEK VAN TWEE IN SERIE GESCHAKELDE WEERSTANDEN.

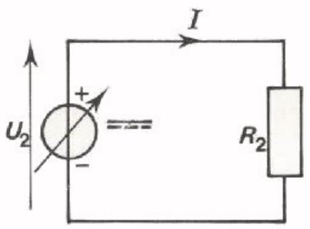
Het begrip "dynamische karakteristiek" is niet zo gemakkelijk. Als eerste kennismaking behandelen we daarom een eenvoudig geval: namelijk de dynamische karakteristiek van de serieschakeling van twee normale weerstanden. Snapt u dit goed, dan kunnen we daarna het geval bekijken van een lineaire plus een niet-lineaire component.

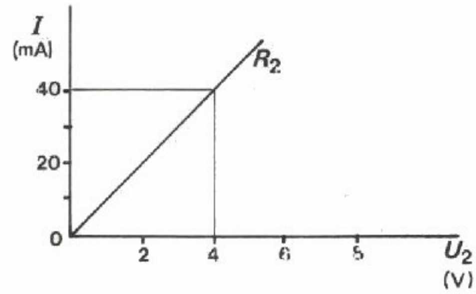
Een weerstand R_1 sluiten we aan op een gelijkspanningsbron, waarvan we de spanning U_1 variëren.
Bij deze weerstand behoort het volgende verband tussen stroom en spanning (volgende karakteristiek dus).



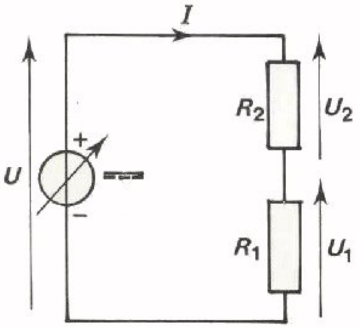


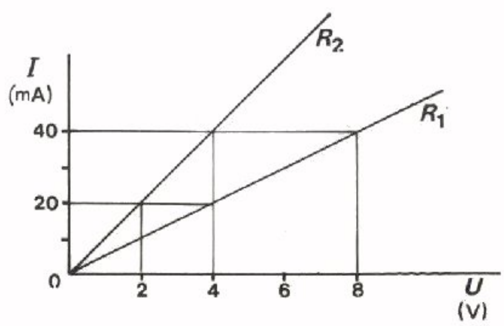
Hetzelfde doen we met een weerstand R_2.
Blijkbaar heeft deze weerstand een andere karakteristiek.



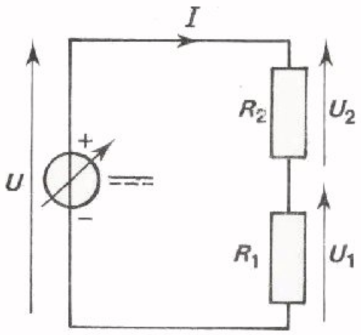


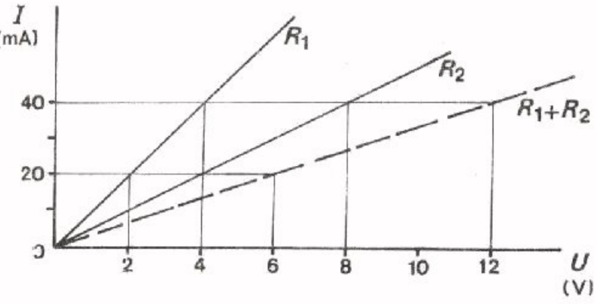
We sluiten nu deze beide weerstanden in serie aan op een spanningsbron. De karakteristieken van de afzonderlijke weerstanden hebben we in één grafiek getekend.





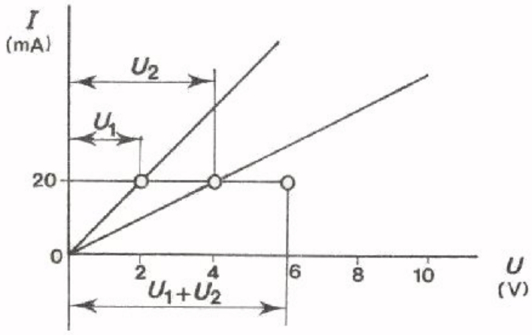
De karakteristiek van de serieschakeling kan men nu vinden door de afzonderlijke karakteristieken "op te tellen" zoals in volgende figuur.





De gestreepte lijn in deze grafiek is de karakteristiek van deze serieschakeling. Deze noemen we de dynamische karakteristiek.

We kunnen ons voorstellen, dat u bij uzelf denkt: "Dat zal dan wel zo zijn, maar ik begrijp er geen snars van". Terecht, want we hebben het bovenstaande enkel maar als een "truc" verkocht. Wat we gedaan hebben is echter als volgt gemakkelijk te begrijpen.
We hadden twee weerstanden R_1 en R_2 waarvan we de afzonderlijke karakteristieken kenden. Sluiten we R_1 en R_2 in serie aan op een bepaalde spanning, dan loopt er door beide weerstanden dezelfde *stroom*. Laten we bij wijze van voorbeeld eens aannemen dat deze stroom 20 mA is. Uit de karakteristiek van R_1 blijkt de spanning over R_1 dan gelijk te zijn aan 2 V.
Uit de karakteristiek van R_2 blijkt de spanning over R_2 bij 20 mA gelijk te zijn aan 4 V.
De spanning over $R_1 + R_2$ is dus: $4 + 2 = 6$ V.

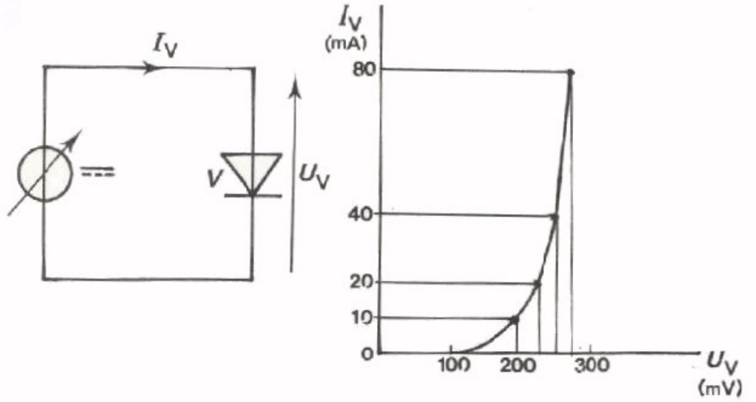


We hebben zo één punt van de dynamische karakteristiek gevonden.
Elk ander punt vinden we op overeenkomstige wijze.

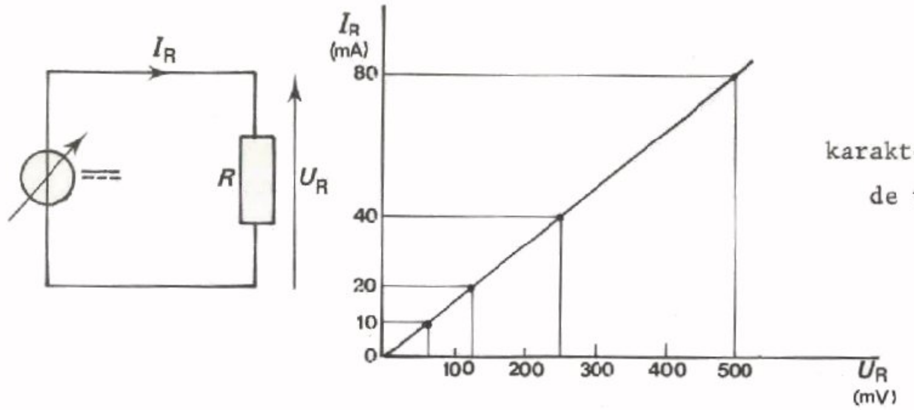
De dynamische karakteristiek is de karakteristiek van "de serieschakeling". We stellen ons voor dat de serieschakeling vervangen is door één component. Van deze ene component bepalen we de karakteristiek: dit is nu de "dynamische karakteristiek".

DE DYNAMISCHE KARAKTERISTIEK BIJ SERIESCHAKELING VAN EEN DIODE EN EEN WEERSTAND.

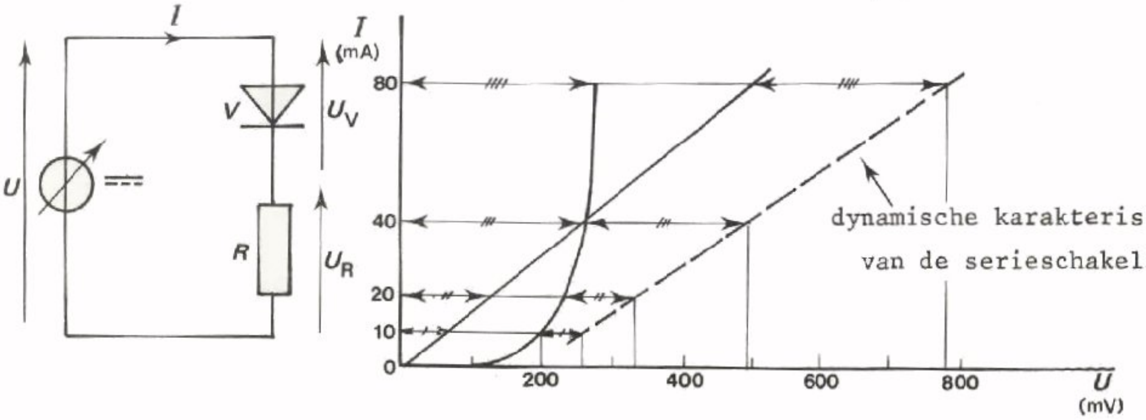
Het verband tussen stroom en spanning bij een diode zoals we dit tot nu toe bekeken hebben noemt men de *statische karakteristiek*. Bij praktisch gebruik van een diode staat er veelal een weerstand mee in serie geschakeld. Voor deze "werktoestand" of "dynamische toestand" van een diode kan men een *dynamische karakteristiek* gebruiken. Deze geeft het verband tussen U en I voor de serieschakeling van diode en weerstand.
Evenals bij serieschakeling van twee weerstanden R_1 en R_2 kan men de afzonderlijke karakteristieken combineren tot één dynamische karakteristiek. Hieronder is dit gedaan.



statische karakteristiek van de diode

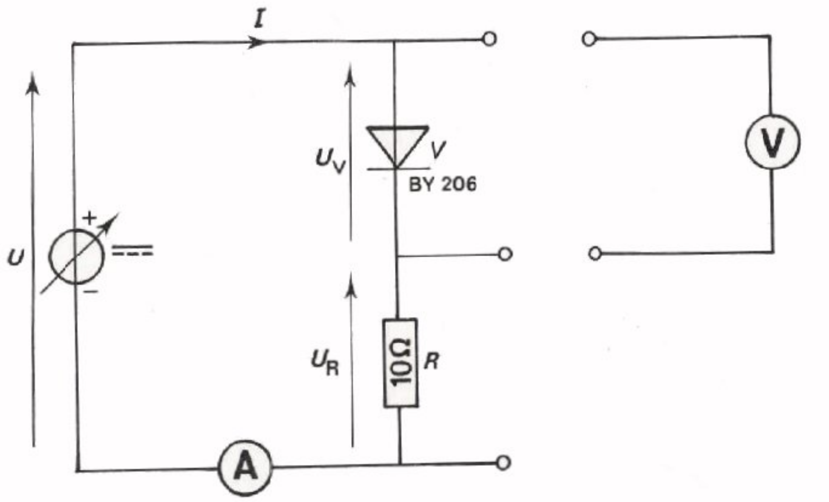


karakteristiek van de weerstand



dynamische karakteristiek van de serieschakeling

OPDRACHT: METEN VAN DE STATISCHE KARAKTERISTIEKEN EN DE DYNAMISCHE KARAKTERISTIEK

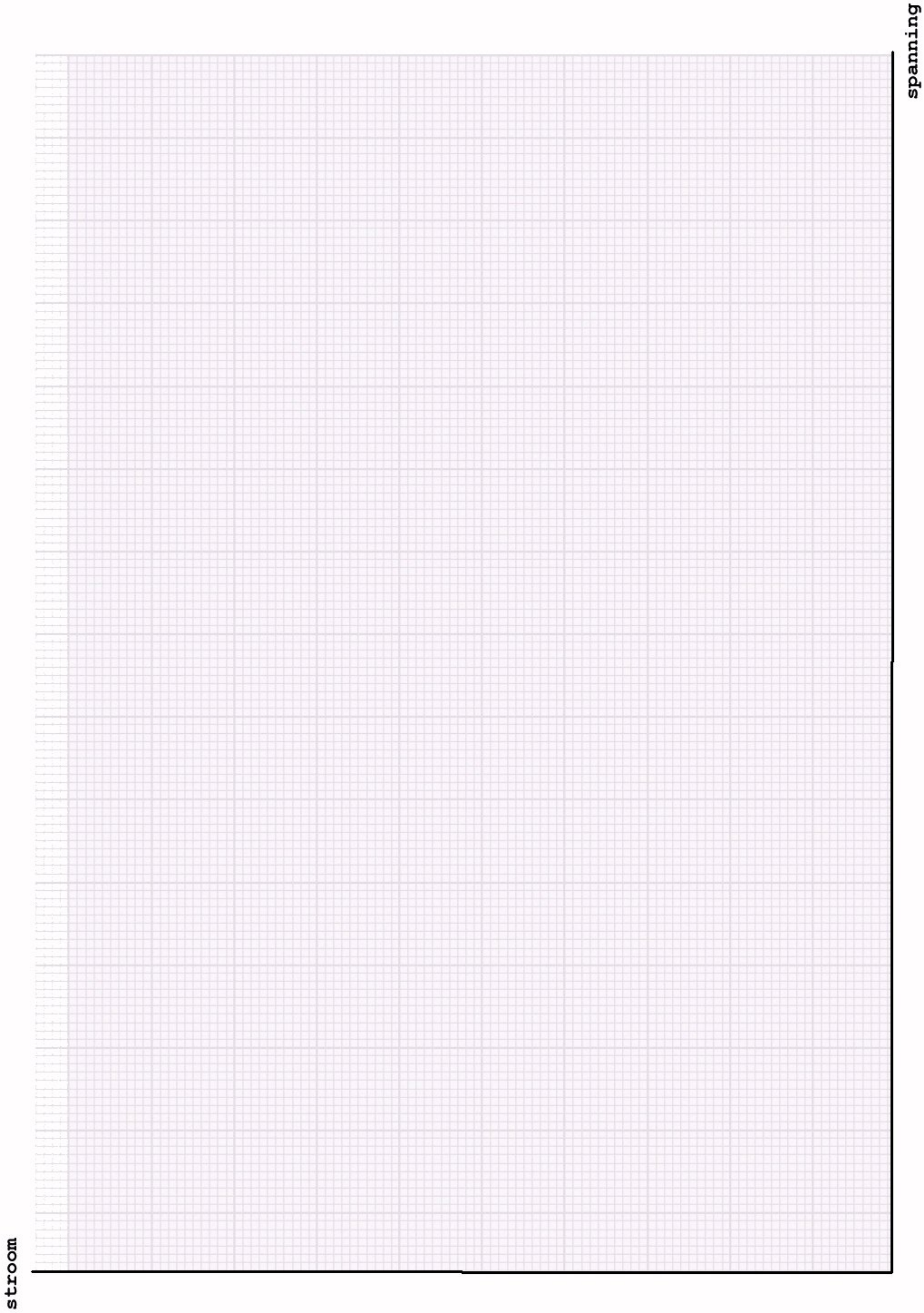


- Bouw deze schakeling.
- Meet achtereenvolgens, telkens bij de in volgende tabel gegeven stromen, de bijbehorende spanningen.
  - U_V over de diode BY206.
  - U_R over de weerstand van 10 Ω.
  - U over de serieschakeling van diode en weerstand.

  Vul de gemeten waarden in de tabel in.

I (mA)	U_V (mV)	U_R (mV)	U (mV)
10			
20			
40			
60			
80			
100			

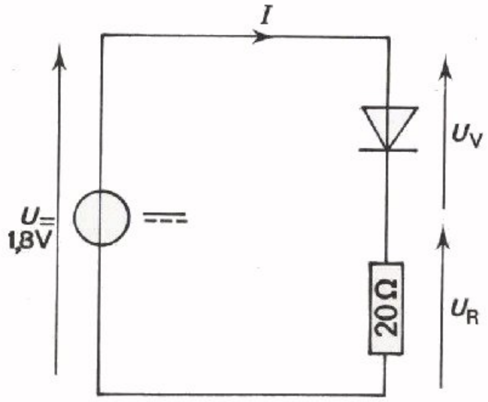
- Teken aan de hand van de meetresultaten de statische en de dynamische karakteristieken in de grafiek op volgend blad.


spanning
stroom

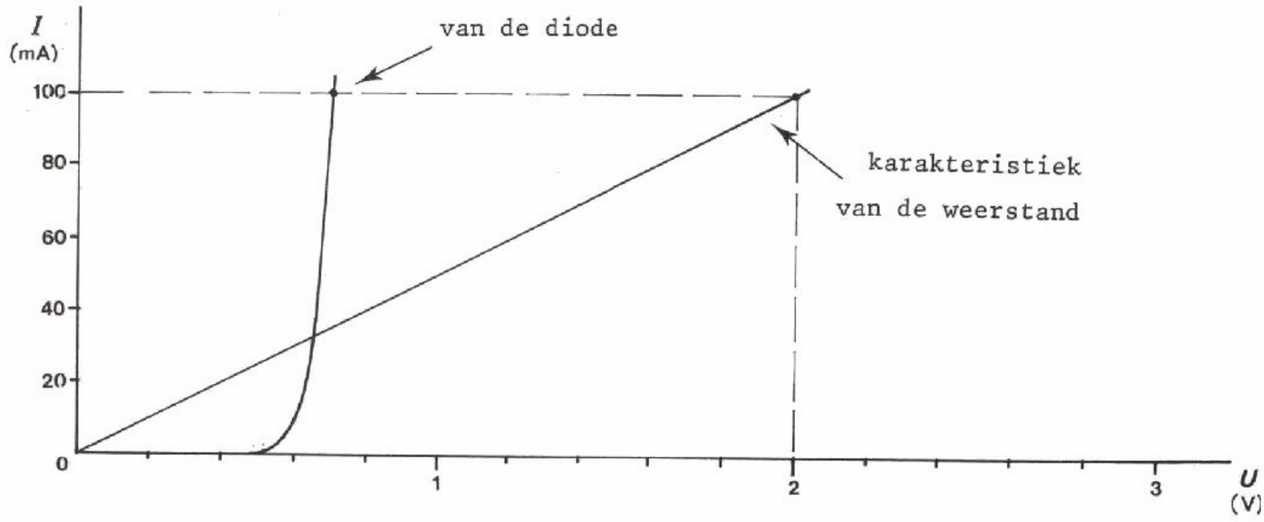
HOE KOMEN WE NU UIT DE MOEILIJKHEDEN BIJ SERIESCHAKELING VAN EEN LINEAIRE EN EEN NIET-LINEAIRE COMPONENT?

Op blad 2 van deze les kwamen we te staan voor het probleem hoe de stroom en de deelspanningen te bepalen bij een serieschakeling van een diode en een weerstand.

We kunnen dit nu als volgt aanpakken.



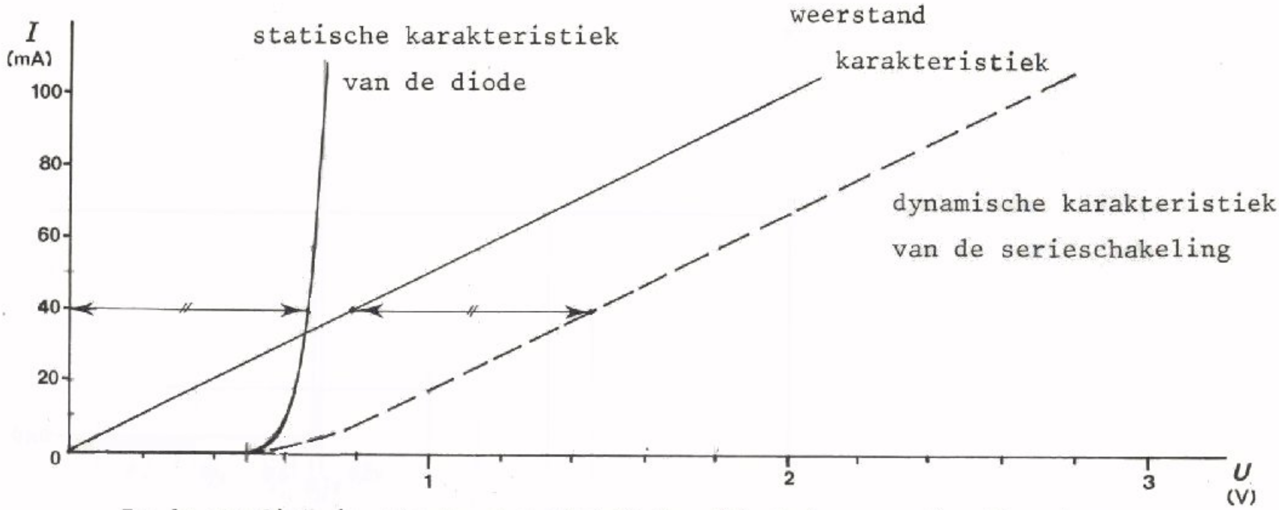
We hebben hier een diode in serie met een weerstand van 20 Ω aangesloten op een gelijkspanning van 1,8 V. We veronderstellen dat de statische karakteristiek van de diode bekend is



In deze figuur is de statische karakteristiek van de diode gegeven. De karakteristiek van de weerstand hebben we erbij getekend.

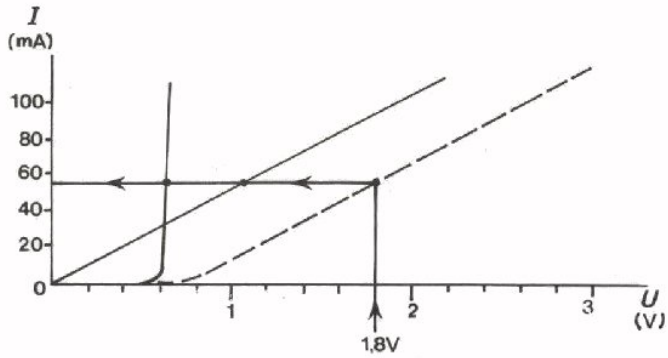
Dit is erg eenvoudig, want we weten dat de karakteristiek van een weerstand een rechte lijn door de oorsprong is. Als we nu één punt van deze karakteristiek berekend hebben, kunnen we hem tekenen. Gekozen is het punt bij I = 100 mA, dan is $U = R.I$ = 20.0,1 = 2 V.
Ga dit na.

Nu kunnen we door deze beide karakteristieken "op te tellen" de dynamische karakteristiek vinden. In volgende figuur is dit gedaan.



In de grafiek is als voorbeeld bij I = 40 mA de spanning U_V, (het stuk ←‖→) achter de spanning U_R uitgezet.

Na al dit voorbereidend werk kunnen we ons probleem snel oplossen. De serieschakeling van weerstand en diode was aangesloten op 1,8 V.



Met behulp van de dynamische karakteristiek uit bovenstaande figuur vinden we de stroom door de serieschakeling. Deze bedraagt I = 56 mA. Ga dit na.
De spanning over de weerstand is dus: $U_R = R.I = 20.56.10^{-3} = 1,12$ V.
Als spanning over de diode blijft dus over: 1,8 - 1,12 = 0,68 V.

De spanningen U_R en U_V zijn ook uit de grafiek af te lezen.
Ga dit na.

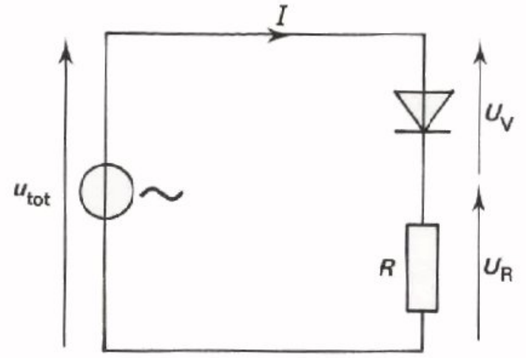
TESTVRAAG

Om na te gaan of u het bovenstaande goed begrepen hebt, moet u eens proberen volgende vraag te beantwoorden.

Hoe groot wordt bij deze schakeling de spanning over de diode bij een totale spanning van 0,7 V? Gebruik de bovenste figuur.

U_V =

DE DYNAMISCHE KARAKTERISTIEK BIJ WISSELSPANNING



Hier is de serieschakeling van een weerstand en een diode op een sinusvormige wisselspanning aangesloten.

Op volgend blad is weer de grafiek van stroom I en spanning U getekend met de weerstand-karakteristiek en de statische en dynamische karakteristieken van de diode.

Daaronder is "op zijn kant" de grafiek van de totale spanning U_{tot} weergegeven. Deze sinusvormige spanning staat over de serieschakeling van diode en weerstand.

Tijdens het doorlopen van één periode variëren de diodestroom en de diodespanning; het instelpunt beweegt langs de dynamische karakteristiek heen en weer.

Als u negatief is gaat er nagenoeg geen stroom door de diode. De gehele spanning staat dan praktisch over de diode (zie het schuingestreepte deel van de negatieve periodehelft).

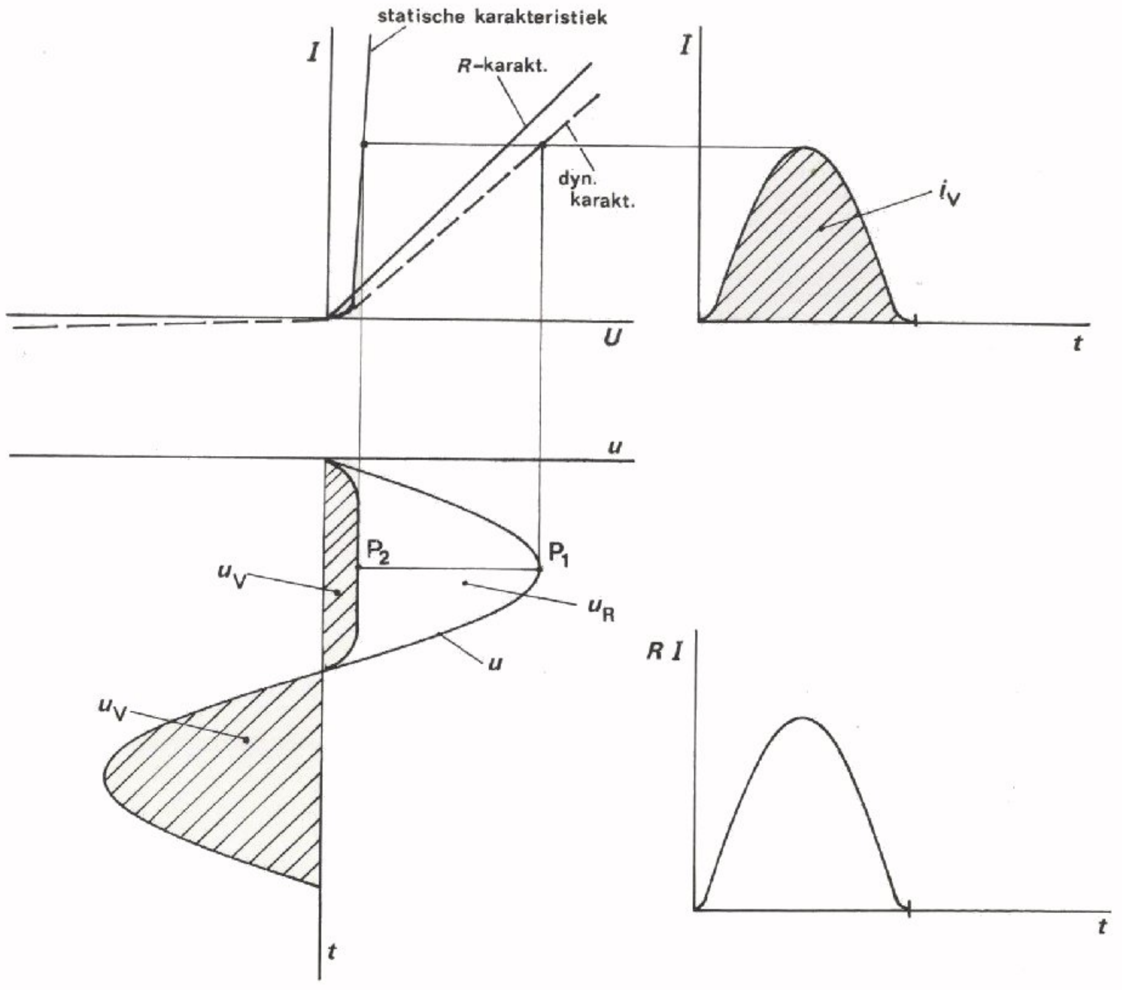
Als u positief is gaat er wel stroom door de diode.

Stel de momentele waarde van de totale spanning is gelijk aan P_1, (zie figuur volgend blad). De diodespanning vindt men dan via de dynamische karakteristiek als aangegeven in de figuur. Ga na dat de diodespanning u_V op dit moment wordt weergegeven door P_2.

Tijdens de positieve helft van de periode verloopt de spanning u_V als aangegeven in de figuur (schuin gestreepte deel). Het merendeel van de spanning staat over de weerstand R (het niet gestreepte gedeelte van de positieve periodehelft).

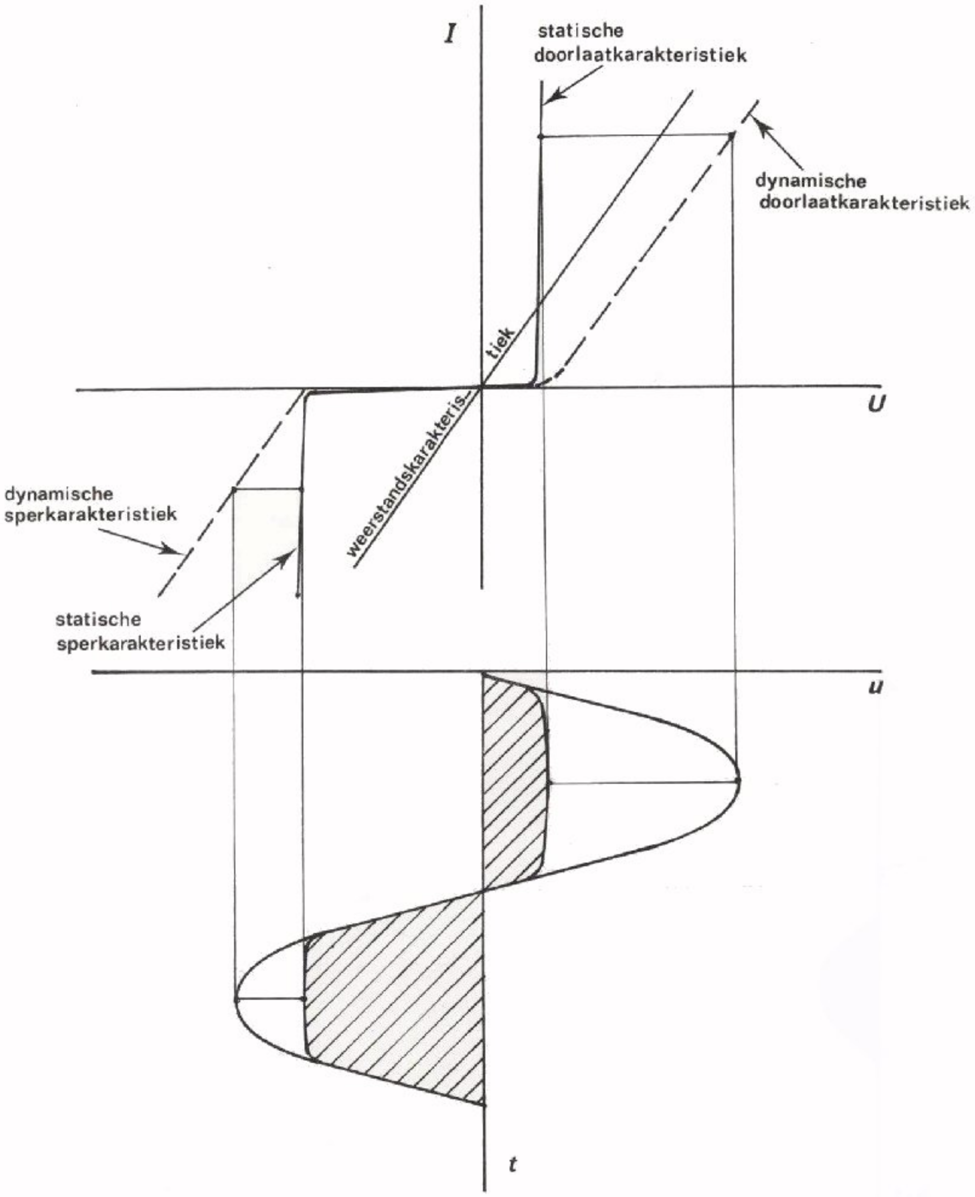
Geheel rechts op volgend blad is het verloop van de stroom door de serieschakeling gegeven. Deze vinden we met behulp van de dynamische karakteristiek.

De spanning u_R over de weerstand is gelijk aan $R.i_V$; deze verloopt dus juist zo als de stroom door de schakeling. We hebben dit nog eens apart onder de grafiek van I getekend.


statische karakteristiek
I
R-karakt.
dyn.
karakt.
I
i_V
U
t
u
P_2
P_1
u_V
u_R
u
u_V
R I
t
t

DE DYNAMISCHE KARAKTERISTIEK IN DE SPERRICHTING.

Tot nu toe hebben we in het bijzonder in de doorlaatrichting gelet op de dynamische karakteristiek. De sperrichting kwam er daarbij minder op aan, omdat de sperstroom nagenoeg nul was.
In geval van een diode met een niet zo hoge sperspanning, (zoals de eerder te sprake gekomen zenerdiode BZX79/C6V8 b.v.) kunnen grote sperstromen optreden. In dat geval moet men ook in de sperrichting een dynamische karakteristiek tekenen.
In volgend voorbeeld is dit gedaan.

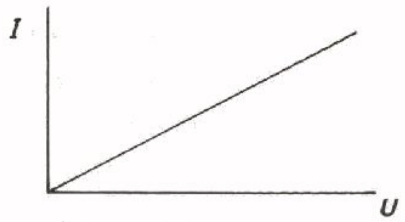


Het gestreepte deel van de figuur geeft weer de spanning over de diode aan.

SAMENVATTING

- Bij een *lineaire component* is de *karakteristiek* (de grafiek van I tegen U) een *rechte lijn.*

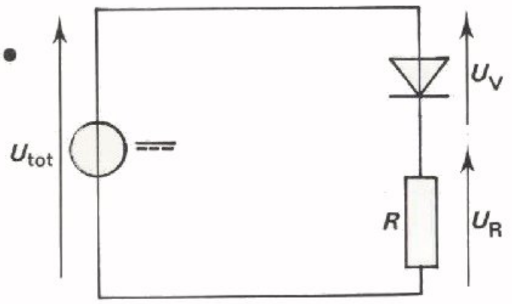
  $R_i = \frac{U}{I}$ is constant.



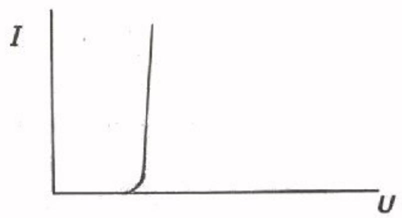
- Bij een *niet-lineaire component* is de karakteristiek *krom.*

  $R_i = \frac{U}{I}$ is niet constant, maar afhankelijk van de stroom en de spanning, of kortweg van de *instelling.*

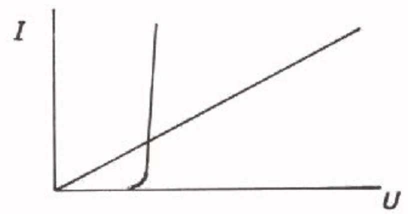


- 

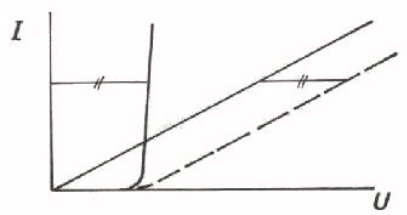
Worden een lineaire en een niet-lineaire component in serie aangesloten op een gelijkspanningsbron, dan kan men de instelling bepalen met behulp van de *dynamische karakteristiek.*
In het geval van de serieschakeling van een diode en een weerstand gaan we als volgt te werk:



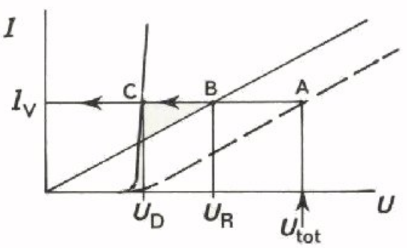
Teken eerst de statische karakteristiek van de niet-lineaire component alléén.



Teken vervolgens de weerstandkarakteristiek erbij.

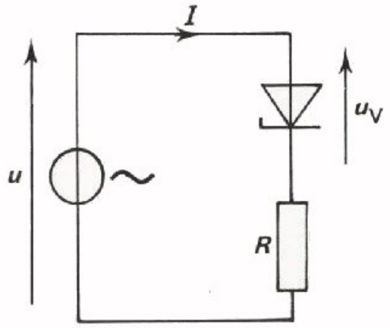


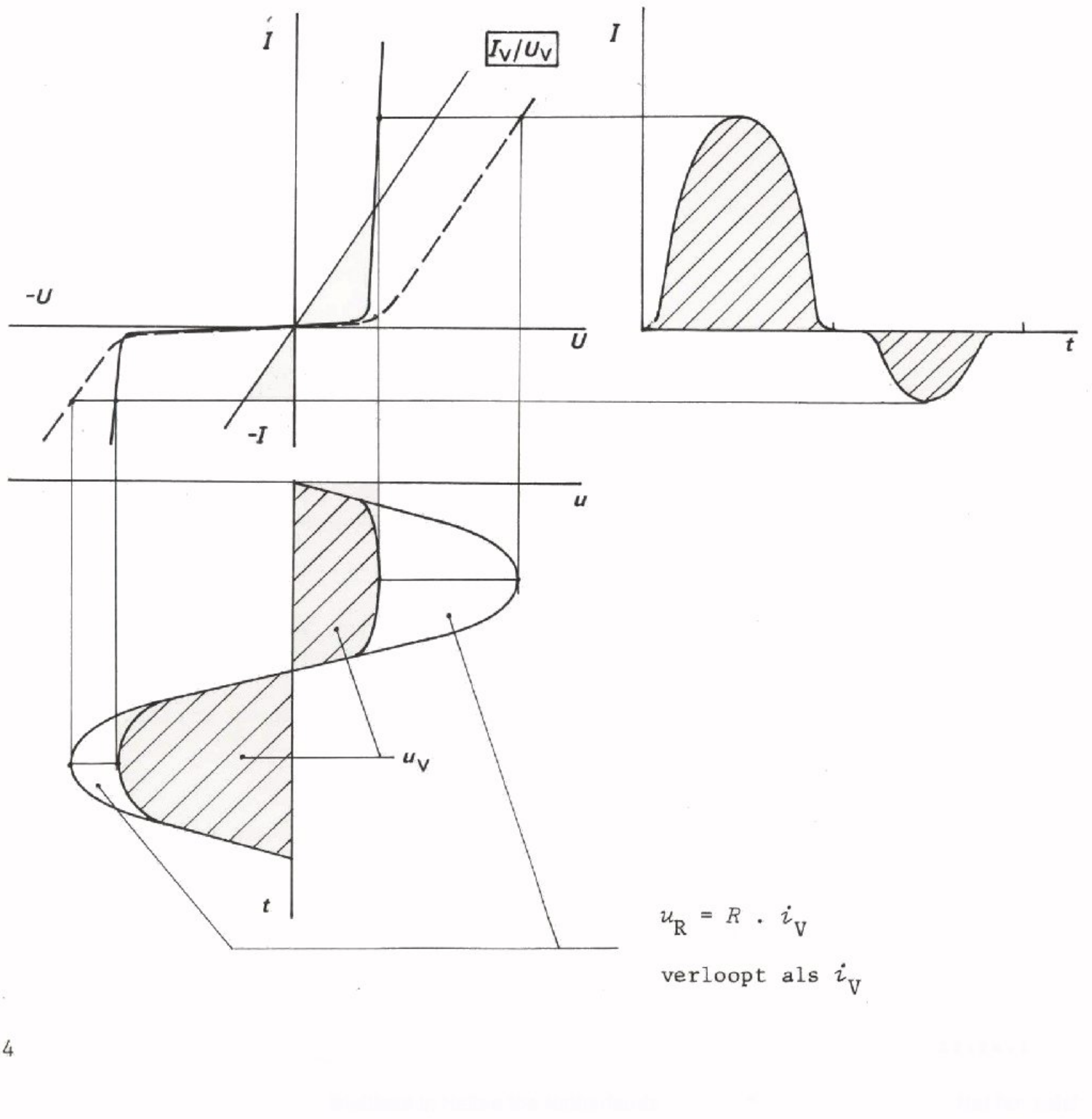
Teken daarna de dynamische karakteristiek door voor diverse I-waarden U_V en U_R op te tellen.



Door U_{tot} naar de punten A, B en C over te halen vindt men I_V, U_R en U_V.

- Het grote belang van de dynamische karakteristiek is, dat men snel in kan zien hoe een spanning door een schakeling wordt verwerkt. Als voorbeeld staat hieronder getekend hoe een zenerdiode in serie met een weerstand een sinusvormige wisselspanning verwerkt.





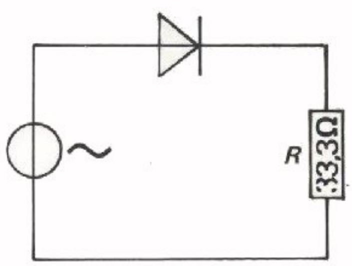
$u_R = R \cdot i_V$

verloopt als i_V

NAAM:

KLAS:

OEFENINGEN

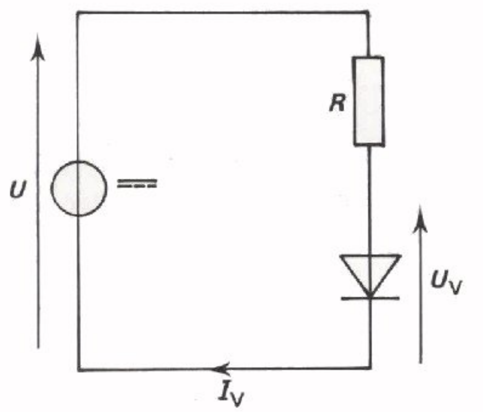


- Teken de weerstandkarakteristiek.
- Construeer de dynamische karakteristiek.
- Construeer rechts boven de grafiek van de diodestroom i_V.
- Teken in de grafiek van u beneden hoe de spanning u_V over de diode verloopt. Geef dit met schuine lijntjes ("gearceerd") aan.

B 203

DE BELASTINGLIJN

INLEIDING



We sluiten een component met een niet-lineaire karakteristiek (in dit geval een diode) in serie met een weerstand R op een gelijkspanning aan. We willen nu de stroom door en de spanning over de diode bepalen. Dit lukt ons niet op eenvoudige wijze, omdat de weerstand R_i van de diode afhangt van zijn instelling en die is nog niet bekend.

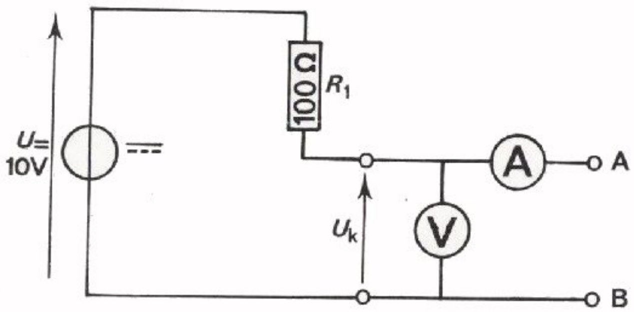
Eén manier om de instelling, (d.w.z. I_V en U_V) te bepalen is de statische karakteristiek van de diode en de karakteristiek van de weerstand te combineren tot de zogenaamde dynamische karakteristiek van het geheel. In de vorige les is dit uitvoerig ter sprake geweest.

Een tweede manier is die waarbij men bij de statische karakteristiek van de diode de zogenaamde *belastinglijn* van de serieweerstand construeert. Hieruit is dan de instelling van de diode te zien. Deze tweede methode gaan we in deze les bespreken.

OPDRACHT: HET METEN VAN DE KLEMSPANNING BIJ VERSCHILLENDE BELASTINGEN.

- Bouw deze schakeling.
- U heeft een weerstand van 220 Ω en een potentiometer van 220 Ω ter beschikking. Daarmee moet u na het meten van de open klemspanning de schakeling tussen de punten A en B belasten.

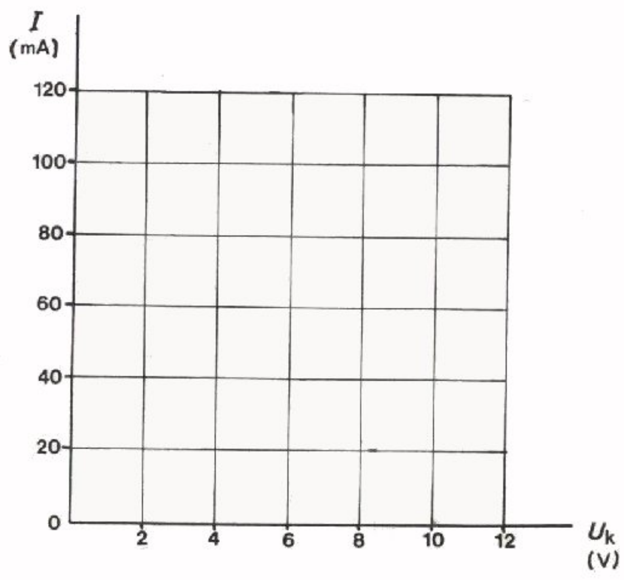
Opmerking: Regel daarbij eerst de potentiometer tot minimaal. Sluit vervolgens de vaste weerstand kort nadat u eerst de potentiometer weer op max. hebt gezet. Meet vervolgens de rest van de benodigde gegevens door opnieuw de potmeter naar kleinere waarden te regelen.



Zorg ervoor dat de in onderstaande tabel gegeven stromen achtereenvolgens door de schakeling lopen. Meet de daarbij optredende spanningen U_k en noteer deze in de tabel.

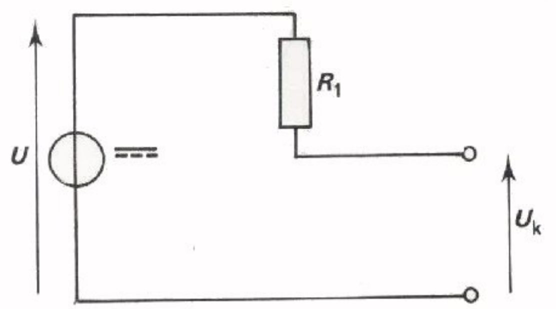
- Zet de gemeten waarden uit in de grafiek en verbind de punten door een lijn.

I (mA)	U_k (V)
0	
20	
40	
60	
80	
100	



CONCLUSIE UIT DE METING

In de voorafgaande opdracht hadden we te maken met een serieschakeling van een ideale spanningsbron en een weerstand R_1. Deze serieschakeling belasten we door achtereenvolgens verschillende stromen af te nemen.



Bij elke stroom hebben we de klemspanning U_k gemeten. Deze neemt af bij toenemende stroom, omdat:

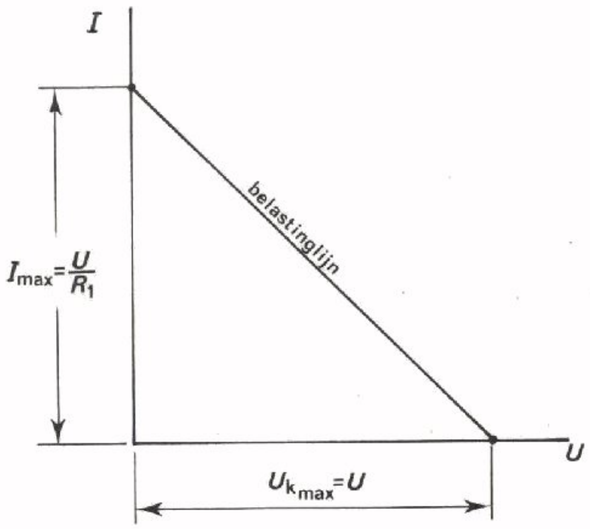
$$U_k = U - R_1 I.$$

Dit wil zeggen, omdat het spanningsverlies over R_1 dan toeneemt.

De grafiek waarin de bij elkaar behorende waarden van I en U_k zijn uitgezet blijkt een rechte lijn te zijn.

Deze lijn, die de toestand bij verschillende belastingen vastlegt, noemt men de *belastinglijn*.

De belastinglijn loopt blijkbaar van het punt $U_{kmax} = U$ op de U-as naar het punt $I_{max} = \frac{U}{R_1}$ op de I-as.



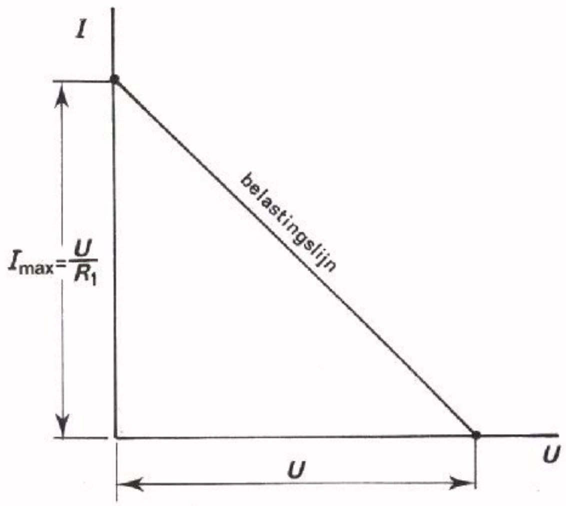
Merk op:

$$\boxed{R_1 = \frac{U}{I_{max}}}$$

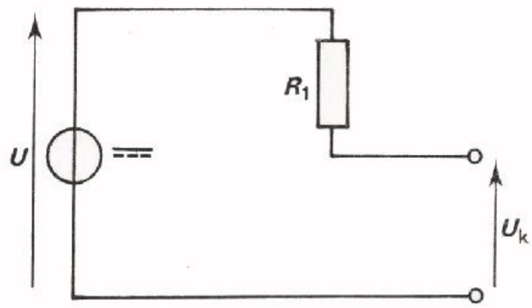
Bij onze meting:

$$R_1 = \frac{U}{I_{max}} = \frac{10}{0,1} = 100\ \Omega.$$

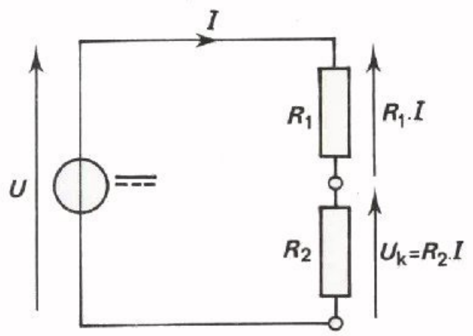
NADERE BESCHOUWING VAN EEN BELASTE TOESTAND

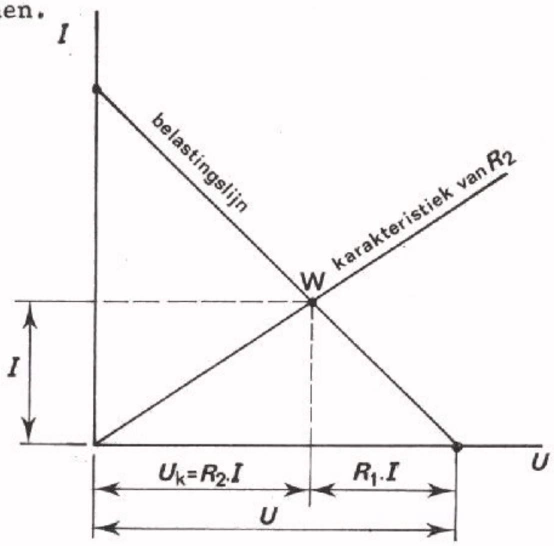


We hebben gezien dat deze serieschakeling van spanningsbron en weerstand bij belasting volgende belastinglijn vertoont.



Laten we nu eens veronderstellen dat we met R_1 een bekende weerstand R_2 in serie schakelen. Van deze weerstand kunnen we de karakteristiek bij de belastinglijn in de grafiek tekenen.



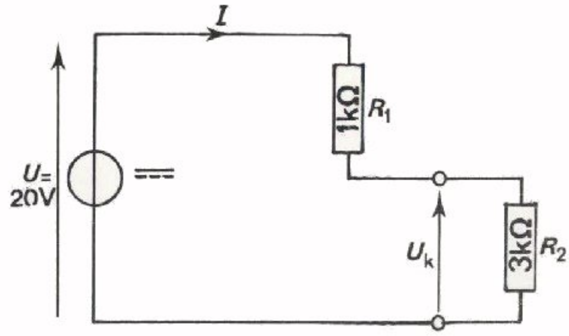


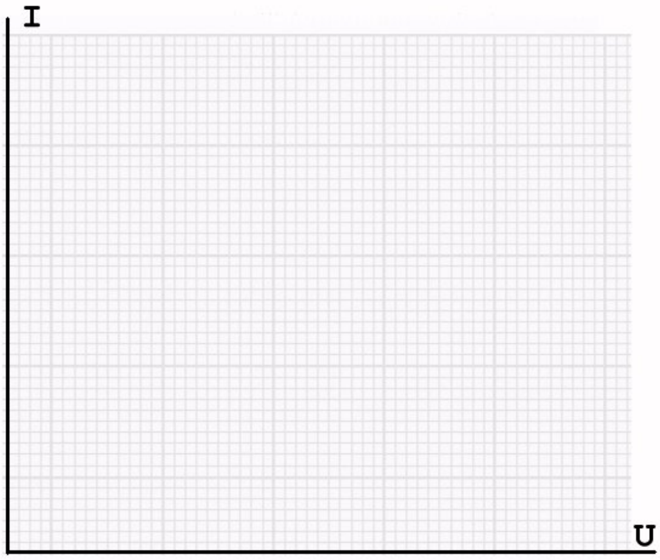
De belastinglijn en de karakteristiek van R_2 snijden elkaar in het punt W.
Wat is de betekenis van dit punt?
Bij het punt W behoort de waarde van de stroom die voor R_1 en R_2 gelijk is; het is de stroom door de serieschakeling.
Het punt W ligt enerzijds op de belastinglijn, zodat de spanning U_k erbij hoort. Anderzijds ligt W op de karakteristiek van R_2, zodat de spanning over deze weerstand: $R_2.I$ erbij hoort.
Nu geldt $U_k = R_2.I$, zodat deze redenering geheel klopt.
Verder is in de grafiek onmiddellijk het stuk $R_1.I$ aan te wijzen, want:

$$R_1.I = U - U_k.$$

OEFENING

- Teken voor deze schakeling in onderstaand assenstelsel:
  - de belastinglijn
  - de karakteristiek van R_2.





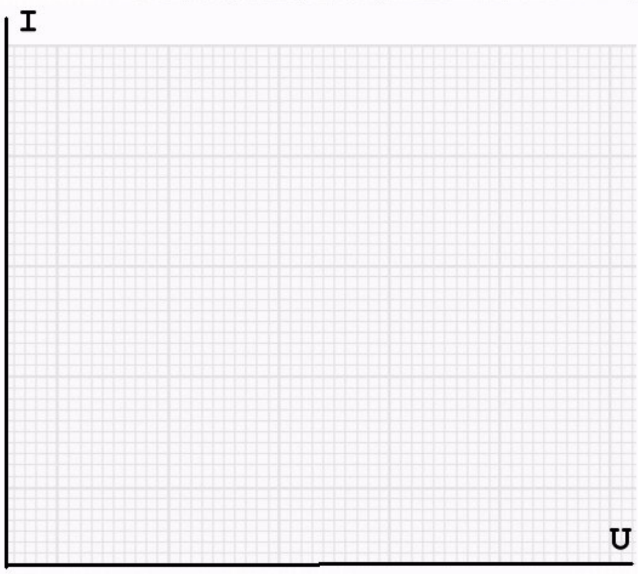
Hoe groot zijn: I, U_k en $R_1.I$?

I = [ ] mA

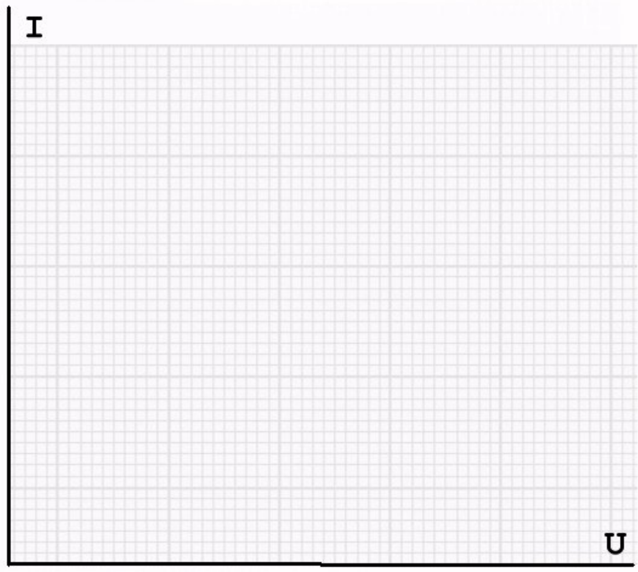
U_k = [ ] V

$I.R_1$ = [ ] V

- Teken hieronder het geval dat R_1 = 2 kΩ. De rest van de schakeling blijft gelijk.



- Teken hieronder het geval dat R_1 = 1 kΩ en R_2 = 3 kΩ, maar: U = 24 V.

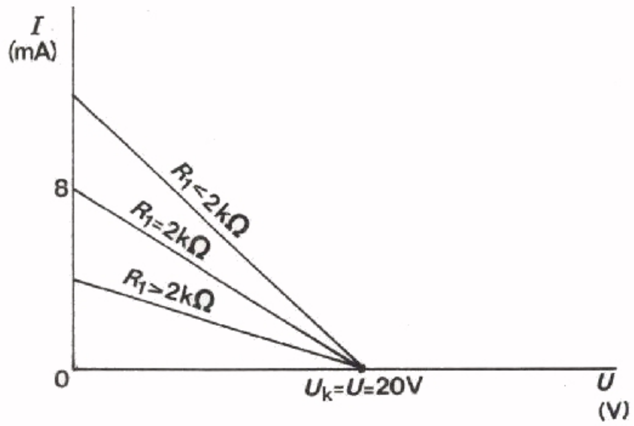


Hier zijn:

I = [ ] I = [ ]

U_k = [ ] U_k = [ ]

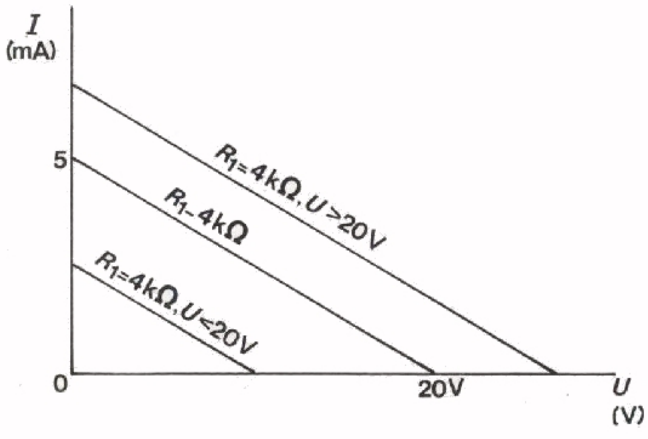
CONCLUSIES UIT DE OEFENINGEN



Als de totale spanning U ongewijzigd blijft en R_1 verandert, dan draait de belastinglijn om het punt $U_k = U$ op de horizontale as.

Bij toenemende R_1 draait de belastinglijn linksom; hij loopt minder steil.

Ga dit zorgvuldig na.

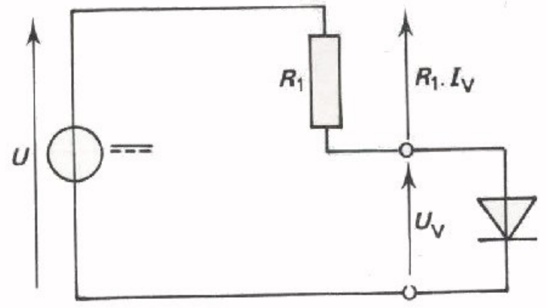


Als R_1 hetzelfde blijft en de totale spanning U verandert, dan schuift de belastinglijn evenwijdig op.

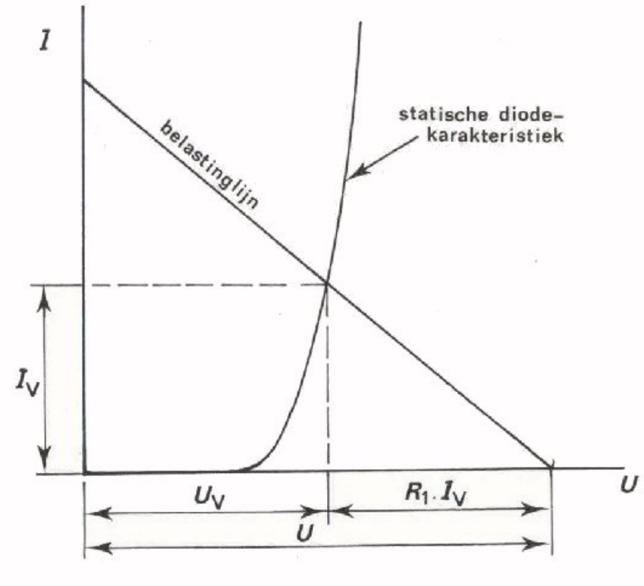
Bij toenemende U schuift de belastinglijn naar rechts. Ga dit na.

DE BEPALING VAN DE DIODE-INSTELLING

In het voorafgaande hebben we een serieschakeling van een spanningsbron en een weerstand belast met een tweede weerstand. Nu gaan we dit doen met een diode. De instelling van de diode gaan we bepalen met behulp van een belastinglijn.



In de schakeling is R_2 nu vervangen door een halfgeleiderdiode.
In de grafiek moeten we daarom in plaats van de karakteristiek van R_2 die van de diode tekenen. Hieronder is dit gedaan.

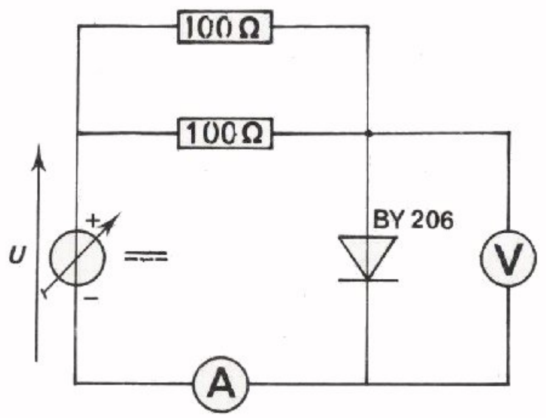


Het snijpunt W van de belastinglijn en de diodekarakteristiek is nu het *instelpunt* of *werkpunt* van de diode. Met W liggen I_V en U_V vast, terwijl ook $R_1.I_V$ bekend is:

Immers:

$$U = U_V + R_1.I_V, \text{ zodat } R_1.I_V = U - U_V.$$

OPDRACHT: HET BEPALEN VAN DE DIODE-INSTELLING.



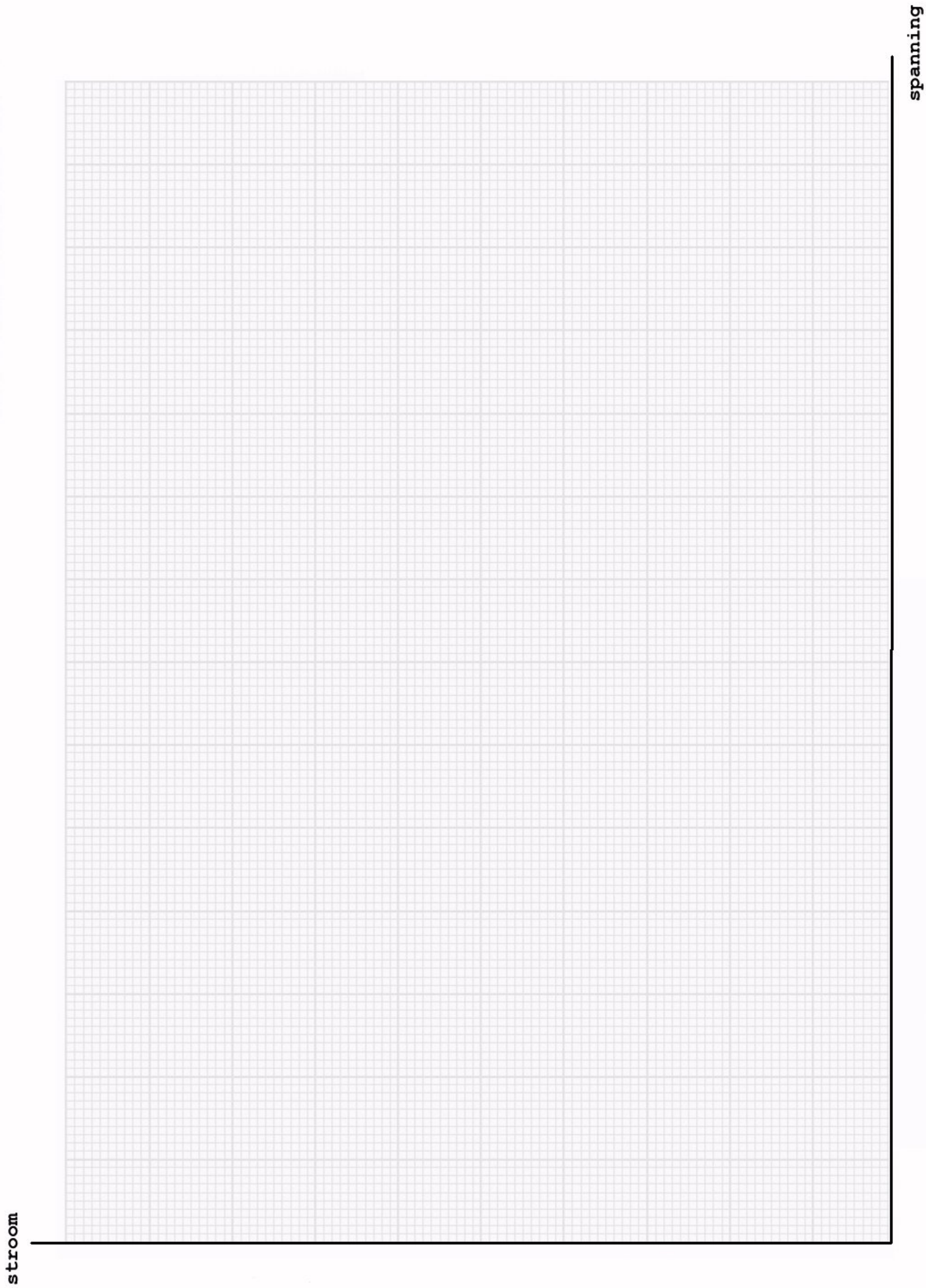
- Bouw deze schakeling.
- Meet de statische diodekarakteristiek van de BY206.
  Houd daarbij de waarden van de stroom aan uit volgende tabel. Vul de gevonden spanningen in de tabel in.

I_V (mA)	U_V (V)
10	
20	
40	
60	
80	
100	

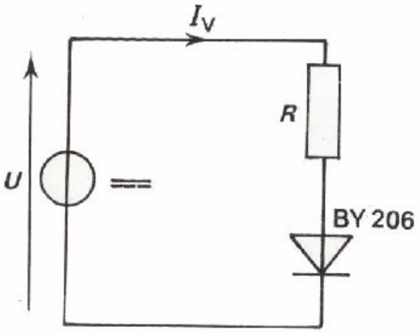
- Teken de diodekarakteristiek in de grafiek op volgend blad.
- Teken in dezelfde grafiek de belastinglijnen voor R = 50 Ω en de spanningen U = 1 V, 2 V en 3 V.
- Bepaal de werkpunten W_1, W_2 en W_3 bij deze spanningen.
  Lees uit de grafiek af bij:

U = 1 V,	U_V =	I_V =
U = 2 V,	=	=
U = 3 V,	=	=

- Stel de spanningsbron nu achtereenvolgens in op 1 V, 2 V en 3 V en ga na of bovenstaande waarden van U_V en I_V door de meters worden aangegeven.


spanning
stroom

BEPALING VAN DE SERIEWEERSTAND

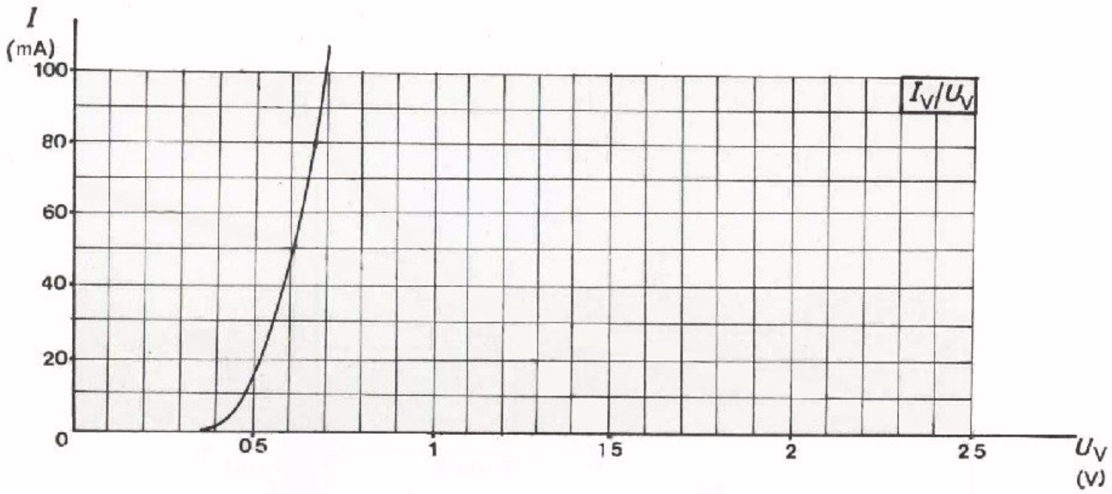


In de praktijk komen we het probleem vaak als volgt tegen:

Gegeven is een bepaalde spanning *U*. Gegeven is een diode met zijn karakteristiek.

Men moet dan de waarde van een weerstand *R* bepalen, die nodig is voor een gewenste instelling.

Gegeven een diode BY206 met volgende karakteristiek.



Gegeven is een totale spanning $U = 2,5$ V.

Gevraagd de weerstand *R* te bepalen waarbij de diode zich instelt op 50 mA.

Teken eerst de belastinglijn en bepaal dan *R*.

R =

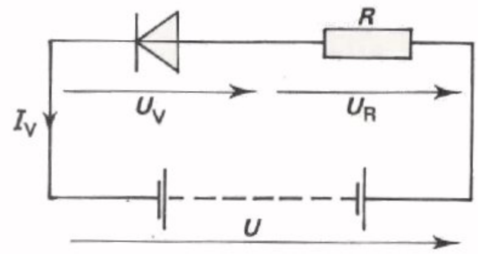
Hoe groot moet *R* zijn voor een instelling bij $I_V = 80$ mA, als $U = 1,5$ V?

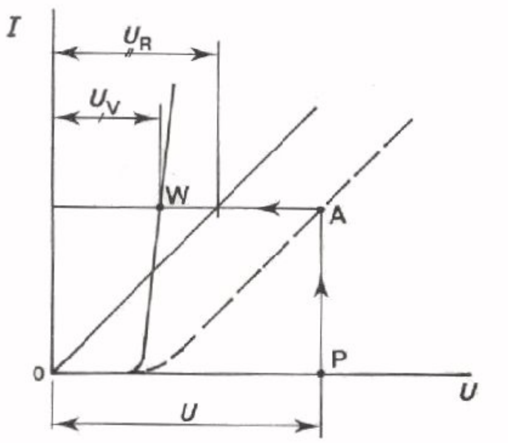
R =

SAMENVATTING

Het instel- of *werkpunt* W van een diode die in serie met een weerstand R op een gelijkspanning is aangesloten kan men bepalen door:

- de statische diodekarakteristiek te tekenen,
- de weerstandkarakteristiek van R erbij te rekenen,
- de *dynamische karakteristiek* te construeren door U_V en U_R op te tellen, telkens voor weer een andere I_V,
- punt P op de U -as eerst verticaal naar A en uit A horizontaal naar W over te halen.

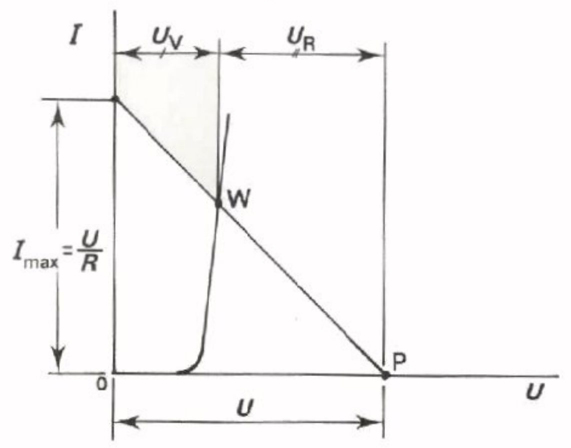


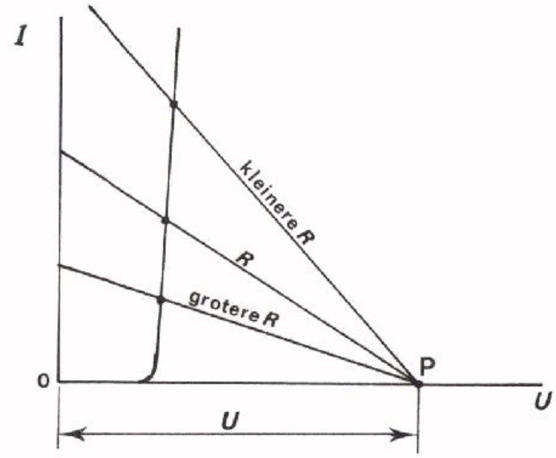


We kunnen het werkpunt W ook bepalen door middel van:

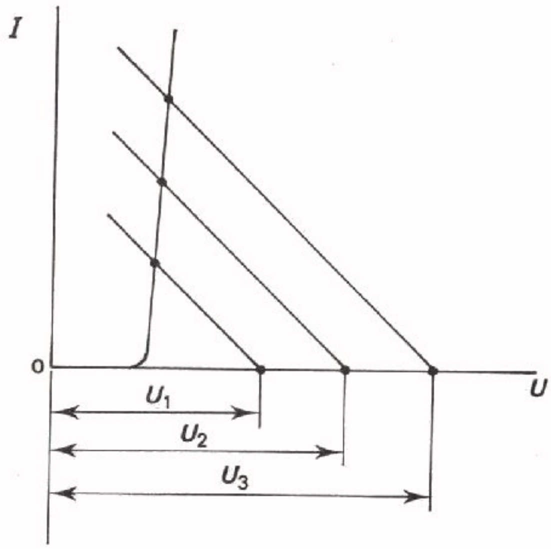
- de statische karakteristiek van de diode te tekenen,
- de belastinglijn erbij te tekenen,
- het snijpunt van deze twee lijnen te bepalen.

De belastinglijn tekent men vanaf het punt P op de horizontale as, waar geld $U_P = U$. De belastinglijn eindigt op de verticale as in het punt $I_{max} = \frac{U}{R}$.





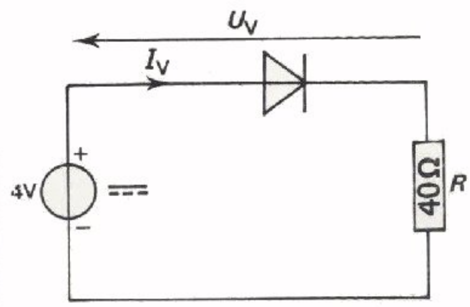
Als U constant is en de waarde van de belastingweerstand R verandert, draait de belastinglijn om punt P.

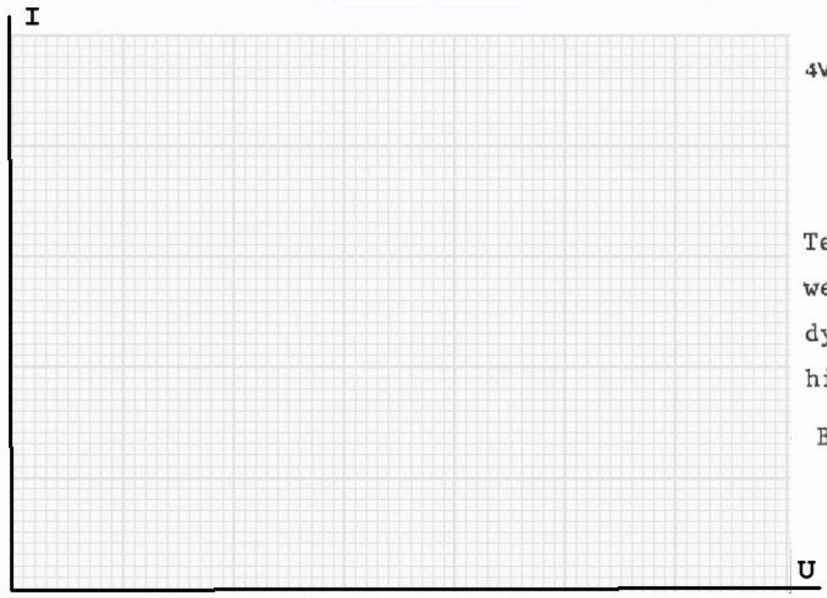


Als R constant is en U verandert, schuift de belastinglijn hierdoor evenwijdig aan zijn oorspronkelijke stand op.

NAAM: KLAS:

OEFENINGEN



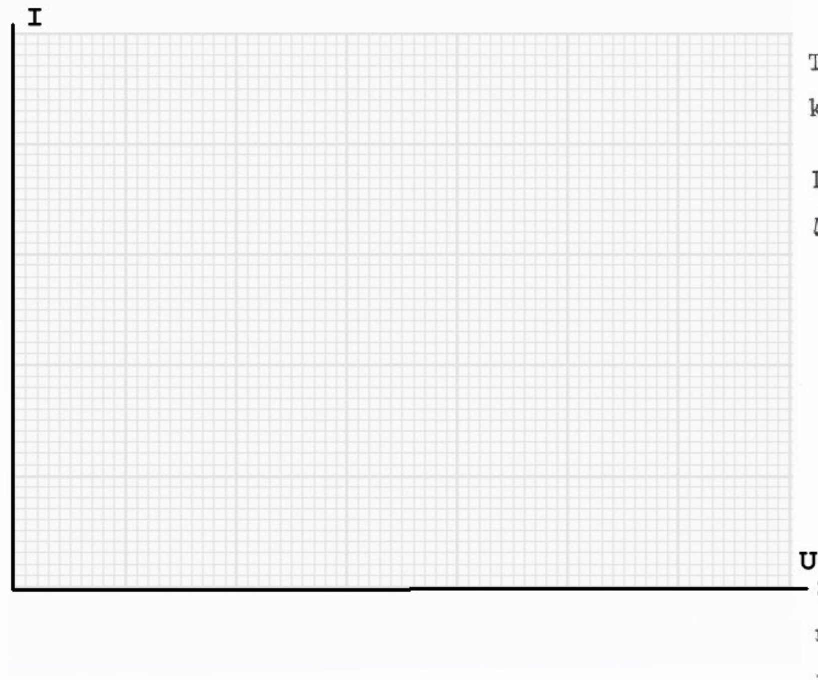


Teken voor deze schakeling de weerstandkarakteristiek en de dynamische diodekarakteristiek hiernaast.

Bepáal I_V en U_V:

I_V = mA

U_V = V



Teken hiernaast voor dezelfde schakeling de belastinglijn.

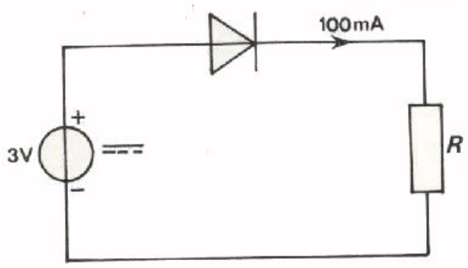
Lees ook nu de waarden van I_V en U_V af:

I_V = mA

U_V = V

Stel nu dat de diode 100 mA stroom moet voeren bij een voedingsspanning van 3 V. Teken eerst voor dit geval de belastinglijn in onderste grafiek.

Hoe groot dient men R dan te nemen?



R =

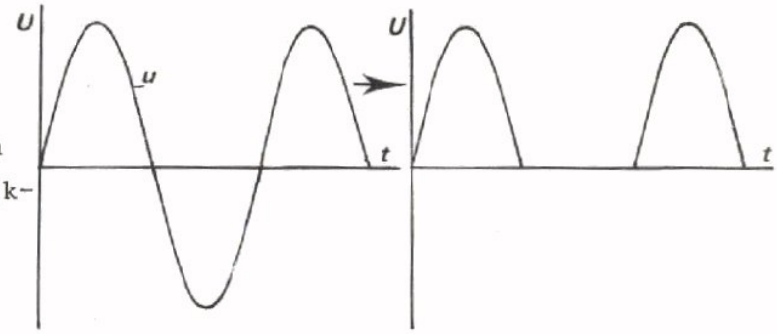
B 2 0 4

T O E P A S S I N G E N   V A N   D E   H A L F G E L E I D E R D I O D E

INLEIDING In deze les gaan we kennismaken met een aantal toepassingen van halfgeleiderdiodes. We geven daarbij telkens een eenvoudig voorbeeld. Een diode kan toegepast worden in de volgende gevallen:

1. *Gelijkrichten*

   Hierbij zet men een wisselspanning om in een pulserende gelijkspanning.

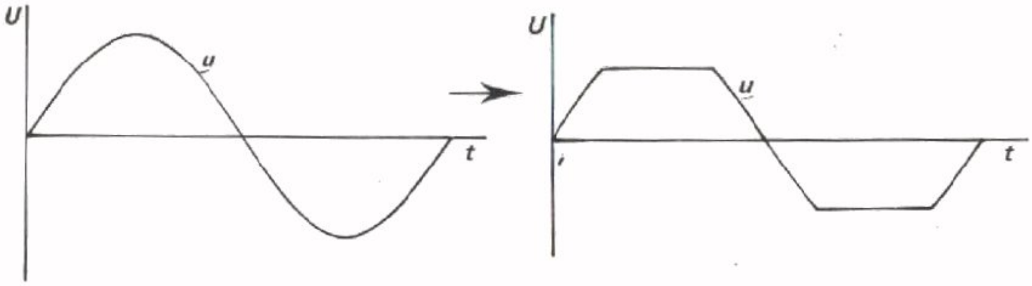


2. *Stabiliseren*

   Hierbij wordt een enigszins veranderende gelijkspanning omgezet in een nagenoeg constante gelijkspanning.

3. *Begrenzen*

   Men zorgt ervoor dat een wisselspanning of een pulserende gelijkspanning nooit boven of onder een bepaalde grenswaarde uit kan komen.



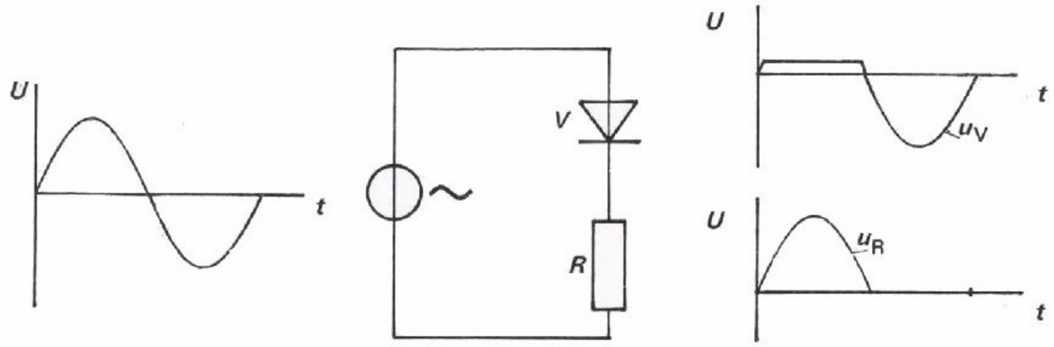
4. *Varieren van een capaciteit*

   Het blijkt dat een halfgeleiderdiode zich als een condensatortje gedraagt, waarvan de capaciteit afhangt van de sperspanning. Door de sperspanning te veranderen kan men de capaciteitswaarde binnen bepaalde grenzen variëren.

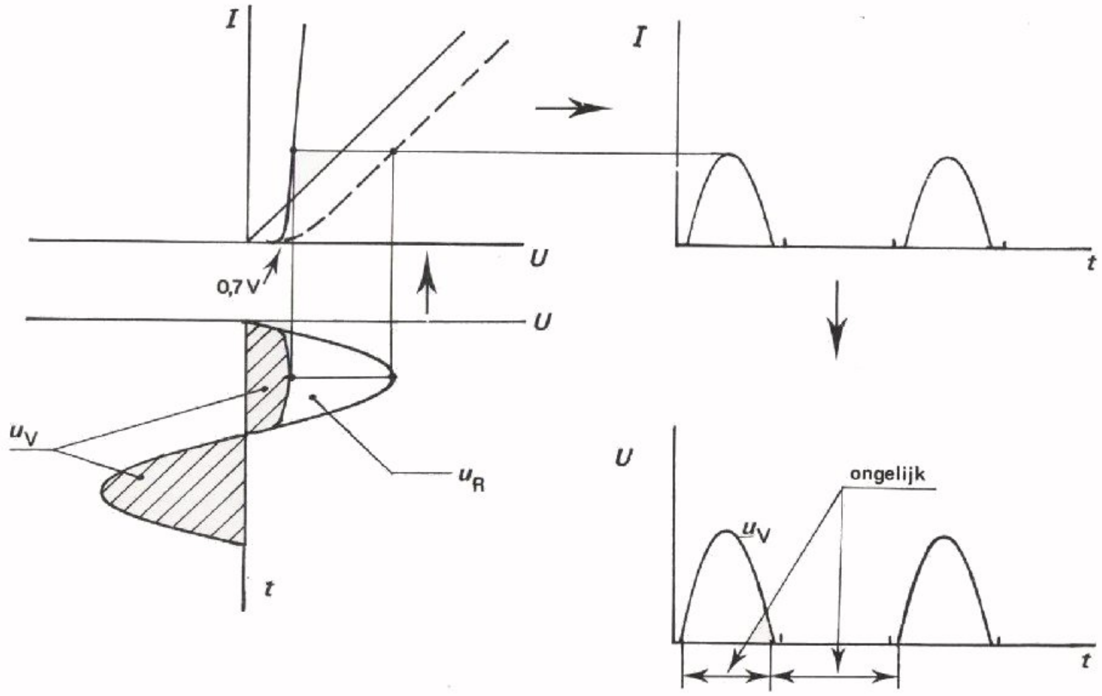
5. *Als lichtgevoelige component*

   De sperstroom kan bij een halfgeleiderdiode aanzienlijk toenemen als er licht op de diode valt. Ook van deze eigenschap kan men soms gebruik maken.

GELIJKRICHTEN

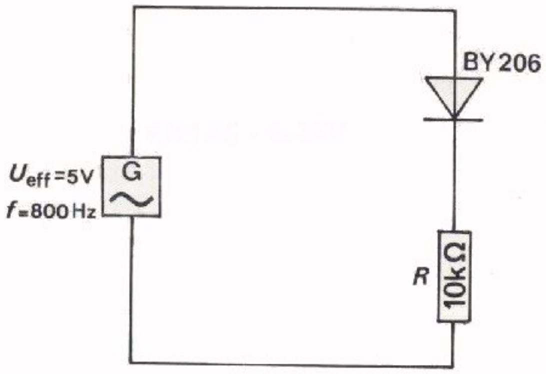


Als we een weerstand R in serie met een diode aansluiten op een wisselspanning, komt er over R een pulserende gelijkspanning te staan. De rest van de spanning staat over de diode. Aan de hand van de dynamische karakteristiek kan men dit heel precies inzien.



Merk op dat meer dan de helft van de totale spanning over de diode staat. De diode geleidt bij U_V = 0 V nog niet, maar gaat dit pas goed bij ongeveer 0,7 V doen. De diode is dus een siliciumdiode.

OPDRACHT: GELIJKRICHTEN MET EEN DIODE



- Bouw deze schakeling.

  Opmerking: Het algemene symbool van de wisselspanningsbron is hier vervangen door het symbool van de wisselspanningsgenerator. In deze lessen gebruikt u meestal de toongenerator.

- Voer een wisselspanning toe van ongeveer 5 V bij een frequentie van 800 Hz.

- Bekijk met behulp van een oscilloscoop:

  - de totaal toegevoerde spanning
  - de spanning over de diode

    (hierbij moet u in verband met het aardpunt van de generator, de weerstand en de diode van plaats verwisselen.)

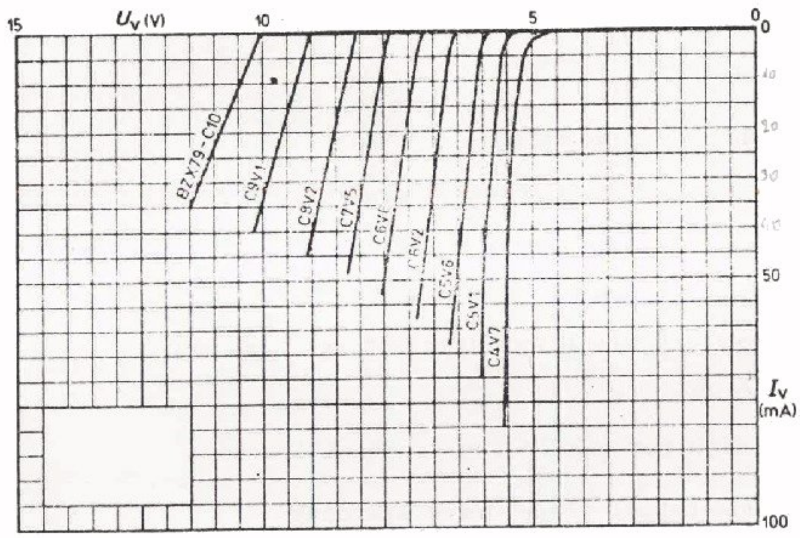
  - de spanning over de weerstand.

  Ga na of de beelden op het scherm overeenkomen met de grafieken op het vorig blad.

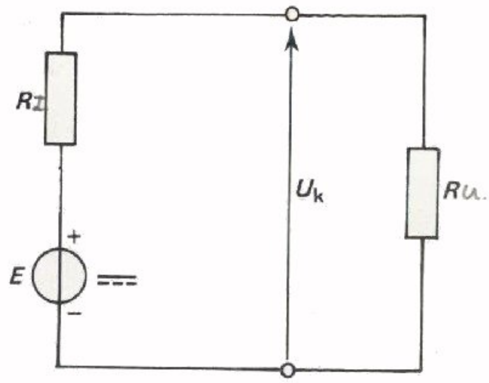
Duidelijk hebt u nu gezien dat men met deze schakeling kan gelijkrichten. De totale spanning was sinusvormige wisselspanning. Over de weerstand ontstaat een pulserende gelijkspanning.

ZENERDIODEN

Af en toe is in de voorafgaande lessen reeds sprake geweest van een speciale halfgeleiderdiode, de zogenaamde zenerdiode.
Een zenerdiode is een siliciumdiode met een sperkarakteristiek die al bij betrekkelijk lage spanningen van de $-U$ -as afbuigt.
Men vervaardigt ze gewoonlijk in reeksen. Van elke reeks hebben de dioden een gemeenschappelijke codering, die uit drie letters en een nummer bestaat. Wij hebben b.v. gebruikt een diode uit de BZX79-reeks. In deze code zegt de B dat het een siliciumdiode is en de Z dat het bovendien een zenerdiode is. Achter de reeks-benaming komt een schuine streep en een code die de gemiddelde zenerspanning weergeeft. Zo hebben wij gebruikt de BZX79/C6V8, waarvan $U_{zener} \approx 6{,}8$ V.
Hieronder ziet u de sperkarakteristieken van een aantal diodes uit de BZX79-reeks.



STABILISEREN



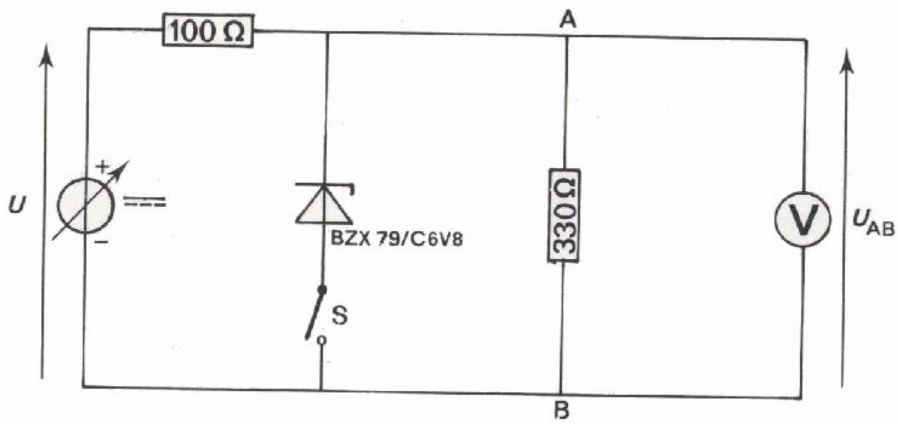
Het komt nogal eens voor dat een gelijkspanning aan ongewenste veranderingen onderhevig is.
Neem b.v. de klemspanning U_k van een belaste spanningsbron met inwendige weerstand R_i. Deze is gelijk aan:

$$U_k = \frac{R}{R_i + R} E$$

Hierin is R de belastingweerstand die op de spanningsbron is aangebracht.

Als E nu enigszins verandert, dan verandert U_k ook. Met behulp van een diode kan men deze klemspanning nagenoeg constant houden (stabiliseren). In volgende opdracht gaan we dit ervaren.

OPDRACHT: STABILISEREN MET BEHULP VAN EEN ZENER DIODE



- Bouw deze schakeling.
- Laat S open en varieer U van 10 V tot 15 V.
- U_{AB} blijkt te variëren tussen:

V	en	V

- Sluit S en varieer U opnieuw van 10 V tot 15 V. Kom niet boven 15 V, anders wordt de diode te heet!
- U_{AB} blijkt nu te variëren tussen:

V	en	V

HOE KOMT DE STABILISATIE TOT STAND?

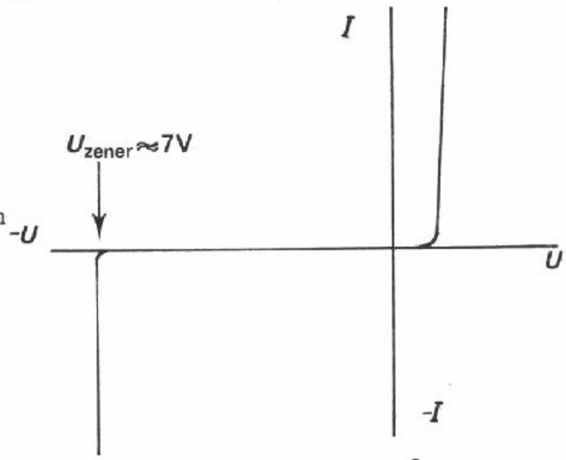
In de voorafgaande opdracht hebben we duidelijk waargenomen dat de diode een stabiliserende werking heeft. Hoe komt dit nu?

Als we in de schakeling van de vorige opdracht bij geopende schakelaar (zonder zenerdiode dus) de spanning U vergroten, dan neemt de stroom door de schakeling toe. Hierdoor neemt de klemspanning U_{AB} evenredig toe.

Als we de zenerdiode parallel aan de belastingweerstand van 330 Ω schakelen (S dicht), dan gebeurt het volgende:

Voeren we de spanning U op van 0 tot 9,1 V, dan neemt klemspanning U_{AB} geleidelijk toe van 0 tot $\frac{330}{100 + 330} \cdot 9{,}1 = 7$ V.

Er is nu nog géén sprake van stabilisatie. Uit de karakteristiek van de zenerdiode in de sperrichting blijkt dat er slechts een zeer kleine sperstroom door de diode loopt als $-U_V$ niet boven 7 V komt. De diode doet nog niets.



Bij $-U_V$ = 7 V buigt de karakteristiek echter scherp naar beneden. Vergroten we U boven 9,1 V, dan neemt de stroom door de schakeling toe. Maar deze stroomtoename gaat geheel door de diode, terwijl de spanning over de diode (en dus ook die over de belastingweerstand) ongeveer gelijk blijft aan 7 V.

De spanningtoename van U is geheel over de serieweerstand van 100 Ω komen staan. Toenemen van U doet nu niet de U_{AB}, maar uitsluitend de spanning over de serieweerstand toenemen.

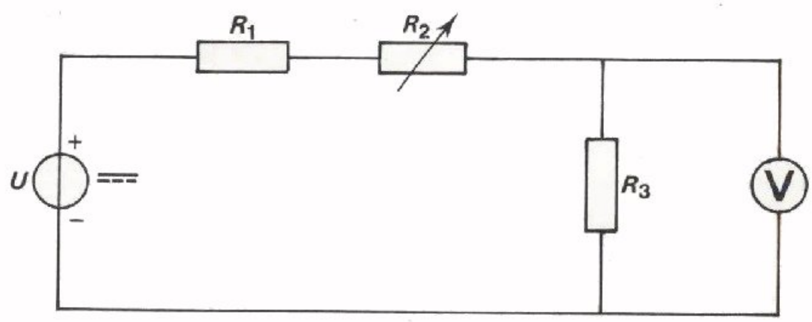
Als men de spanning U vanaf 9,1 V laat toenemen tot 15 V, ziet men de spanning over de diode van 7 V tot slechts ongeveer 7,3 V toenemen. We zien dus dat de sperkarakteristiek van de zenerdiode stabilisatie van de spanning U_{AB} veroorzaakt.

In de doorlaatrichting blijft de diodespanning vanaf ongeveer 0,7 V nagenoeg constant. Hiervan maakt men wel gebruik als spanningen van de orde van 1 V gestabiliseerd moeten worden.

BEGRENZING

Met behulp van een diode kan men een veranderende spanning begrenzen, d.w.z. binnen bepaalde grenzen houden.

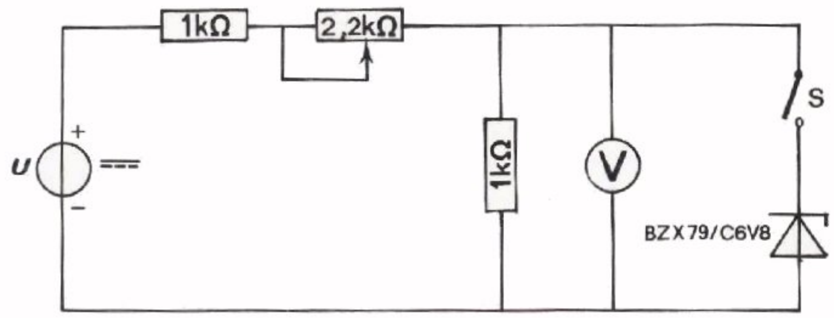
Hier behandelen we een toepassing van begrenzing, namelijk de beveiliging van een voltmeter.



In deze schakeling wordt de spanning over R_3 met een voltmeter gemeten. Deze spanning kan nogal variëren als R_2 wordt veranderd. Veronderstellen we b.v. dat de voltmeter maximaal 7 V kan aanwijzen. Bij verandering van R_2 kan de spanning over R_3 wel eens boven deze 7 V uitkomen. Men kan nu de voltmeter beveiligen tegen te hoge spanningen door er een geschikte diode aan parallel te schakelen. Deze diode moet dan in spertoestand worden geschakeld en zijn zenerspanning moet gelijk zijn aan de maximaal toelaatbare spanning van de voltmeter.

In volgende opdracht gaan we het bovenstaande ervaren.

OPDRACHT: BEVEILIGING VAN EEN VOLTMETER



- Bouw deze schakeling.
- Stel de universeelmeter in op 30 V ⎓.
- Voer met S open een spanning toe U = 30 V.
- Varieer de potmeter van 2,2 kΩ tot 0 Ω en noteer de aanwijzingen van de voltmeter:

U_{min} = [V]

U_{max} = [V]

- Sluit S en noteer opnieuw de spanningsvariatie van de voltmeter.

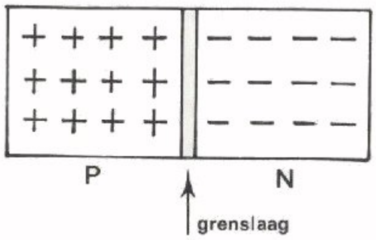
U_{min} = [V]

U_{max} = [V]

U ziet dat de spanning dankzij de zenerdiode nauwelijks meer boven 7 V uitkomt.

DE DIODE-CAPACITEIT

Een halfgeleiderdiode is, zoals we al weten, samengesteld uit een P- en een N-deel. Het P-deel kan tamelijk goed stroom geleiden door aanwezigheid van gaten. Het N-deel kan dit ook dankzij de vrije elektronen.

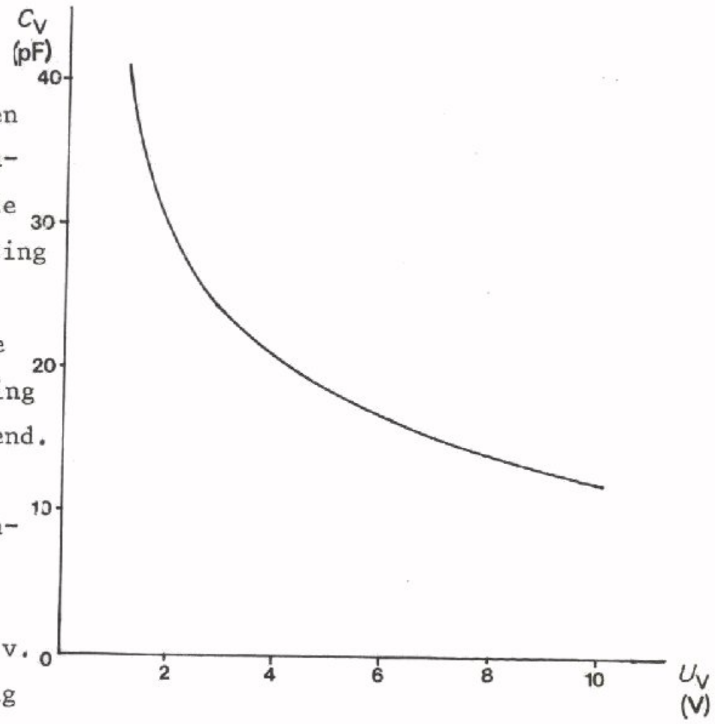


Er blijkt zich tussen het P- en het N-deel een smal gebiedje te bevinden, waarin geen beweeglijke ladinkjes zitten. Deze zogenaamde *grenslaag* vormt een isolerend laagje tussen het geleidende P- en N-deel. Men kan daarmee een halfgeleiderdiode zien als een klein condensatortje.

Nu is er nog iets merkwaardigs. Als men namelijk een sperspanning op de diode aansluit wordt de grenslaag breder en daardoor de capaciteit kleiner. Naarmate de toegevoerde sperspanning groter is, wordt de capaciteit van een halfgeleiderdiode kleiner.

Nogmaals kort samengevat:
Een halfgeleiderdiode vormt een condensatortje waarvan de capaciteit te veranderen is door de gelijkspanning in de sperrichting te veranderen.
Hiernaast is de grafiek van de capaciteit tegen de sperspanning voor een bepaalde diode getekend. Het is een diode die speciaal gemaakt is om als variabele capaciteit te dienen.

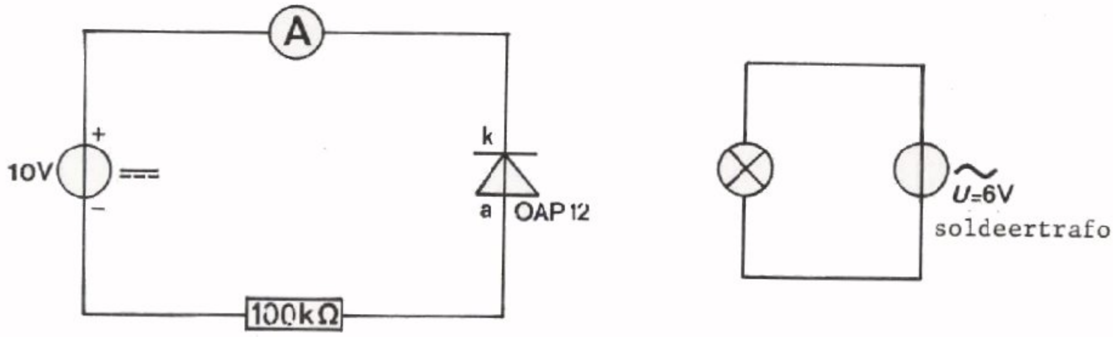
Toepassing vindt deze diode b.v. bij niet-mechanische afstemming in TV-ontvangers.

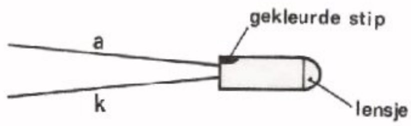


DE FOTODIODE

Als laatste eigenschap van de halfgeleiderdiode bespreken we zijn gevoeligheid voor licht. Geeft men aan een diode een bepaalde sperspanning, dan gaat er een kleine sperstroom lopen. Laat men nu licht op de diode vallen, dan neemt deze sperstroom sterk toe.
Een halfgeleiderdiode is dus een voor licht gevoelige component; men spreekt daarom van een *fotodiode*, (fotos = "licht").
Fotodiodes zijn van een klein lensje voorzien waarmee het licht op het P-N-kristal geconcentreerd kan worden. Diodes die niet als fotodiodes worden gebruikt mogen niet door licht beïnvloed worden. Daarom worden deze altijd "lichtdicht" opgesloten.

OPDRACHT: DE SPERSTROOM NEEMT TOE DOOR OPVALLEND LICHT





- Bouw deze schakeling.
  Ga na of de diode goed is aangesloten.
  Bij de anode staat een stip. Soms is deze niet goed te zien. We schakelen daarom voor alle zekerheid een grote weerstand in serie met de diode. Bij verkeerd aansluiten zal de doorlaatstroom die dan optreedt niet te groot worden.
- Zet de stroommeter in de stand 100 µA. U ziet dat er sperstroom loopt.
- Laat het gloeilampje branden op 6 V; houdt vervolgens een aantal keren iets (bij voorbeeld een stukje karton) tussen het lampje en de diode. U ziet de sperstroom telkens sterk toenemen.

CODERING VAN HALFGELEIDERDIODES

Men codeert halfgeleiderdiodes door middel van twee of drie letters, gevolgd door drie cijfers.

De betekenis van de letters is:

Eerste letter A: germaniumdiode
Eerste letter B: siliciumdiode

Tweede letter A: detectie- of schakeldiode
Tweede letter B: variabele capaciteitsdiode
Tweede letter Y: gelijkrichtdiode
Tweede letter Z: zenerdiode.

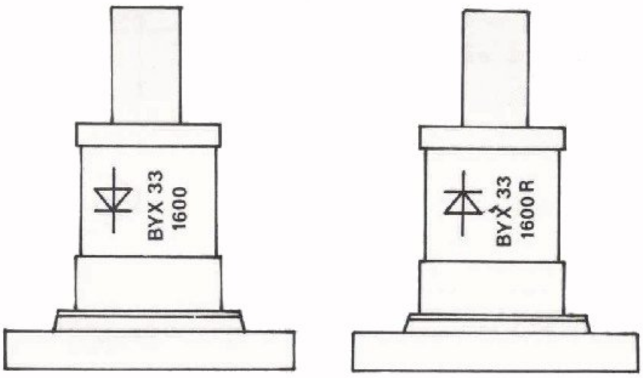
De derde letter en de cijfercombinatie hebben geen speciale betekenis.

Voorbeelden:

AAY 21, AAZ 13:	germanium-schakeldioden
BA 100, BA 148:	silicium-detectiedioden
BB 106:	silicium variabele capaciteitsdiode
AYY 10-120:	germanium-gelijkrichtdiode
BY 100, BYX 10:	silicium-gelijkrichtdioden
BZX 79 BZY 88:	silicium-zenerdioden

Soms komt achter het codenummer nog een hoofdletter R voor. Dit betekent dat anode en kathode verwisseld zijn.

Voorbeeld:



BYX 33-1600 BYX 33-1600 R

Soms komt men nog ouderwetse dioden tegen, die hun oude benaming hebben behouden.

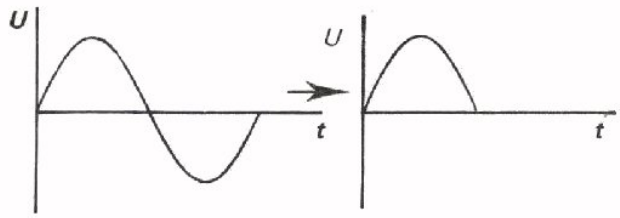
Voorbeelden:

OA 70 , OA 72, OA 73:	germanium-detectiedioden
OA 200, OA 202:	silicium-schakeldioden
OAP 12:	germanium-fotodiode

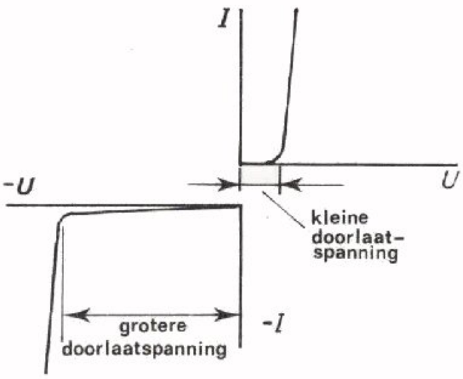
SAMENVATTING

Een halfgeleiderdiode heeft volgende toepassingen:

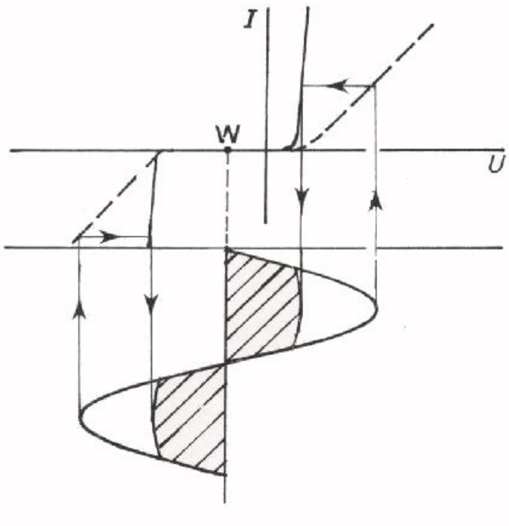
1. *Gelijkrichting* = het omzetten van een wisselspanning in een pulserende gelijkspanning.



2. *Stabilisatie* van een enigszins variërende gelijkspanning.
   De gestabiliseerde spanning is gelijk aan de doorlaat- of aan de zenerspanning, naar gelang men de diode in doorlaat- of in sperrichting aansluit.



3. *Begrenzing* = voorkomen dat een spanning onder of boven een bepaalde waarde komt.



Het stabiliserend effect van de serieschakeling van een weerstand en een zenerdiode treedt ook op als de topwaarde van een wisselspanning groter wordt dan de zenerspanning. Eveneens treedt het stabiliserend effect op als de wisselspanning groter wordt dan de voorwaartsspanning.

Voor een symmetrische begrenzing moet een gelijkspanning bij de wisselspanning worden opgeteld. Zie hiervoor het werkpunt W in de tekening.

4. Door middel van gelijkspanning te *variëren capaciteit*.
   Als de sperspanning toeneemt, neemt de capaciteit van de diode af.

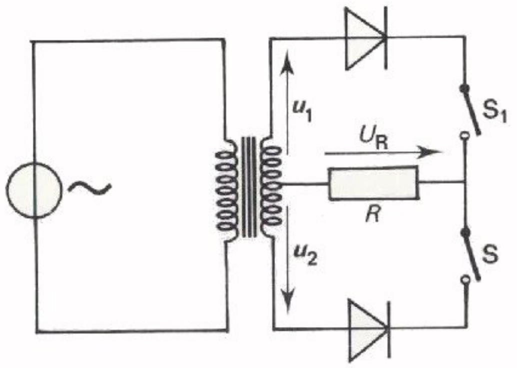
5. Als *lichtgevoelig element*.
   Hoe meer licht er op een diode in de spertoestand, valt, des te groter wordt de sperstroom.

NAAM:

KLAS:

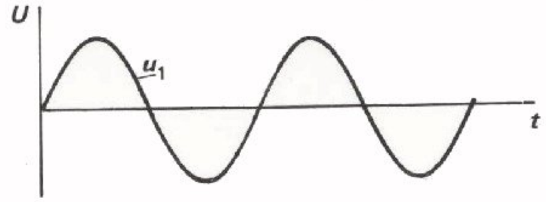
OEFENINGEN

1.



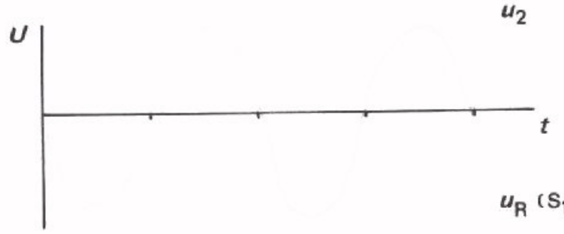
- De wisselspanningen u_1 en u_2 zijn even groot.
- Deze spanningen zijn

in fase/in tegenfase

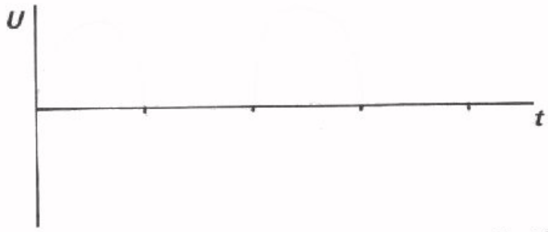


- Teken onder de grafiek van u_1 die van u_2.

u_2

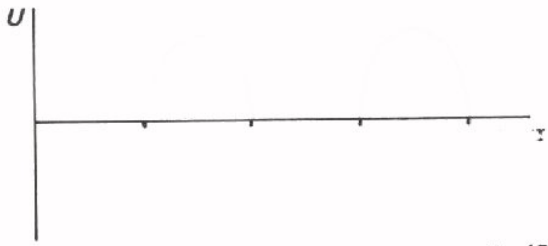


u_R (S_1 dicht)



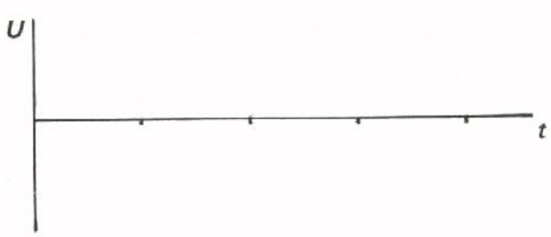
- Teken hiernaast de spanning over R als alleen S1 dicht is.

u_R (S_2 dicht)



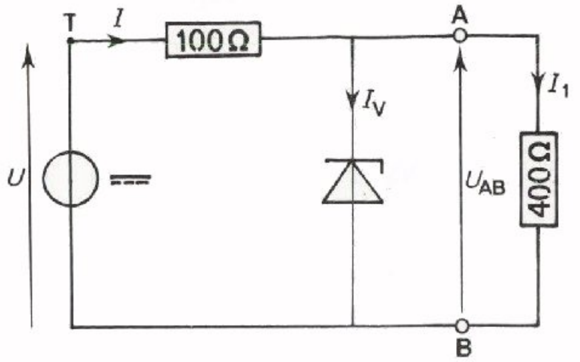
- Teken vervolgens de spanning over R als alleen S2 dicht is.

u_R (S_1 en S_2 dicht)



- Teken tenslotte de spanning over R als S1 zowel als S2 dicht is.

2.



In deze schakeling stabiliseert men de klemspanning U_{AB} door middel van een diode. De zenerspanning van de diode bedraagt 6 V.

Als U = 7,5 V dan is:

U_{AB} = [ ] V U_{TA} = [ ] V

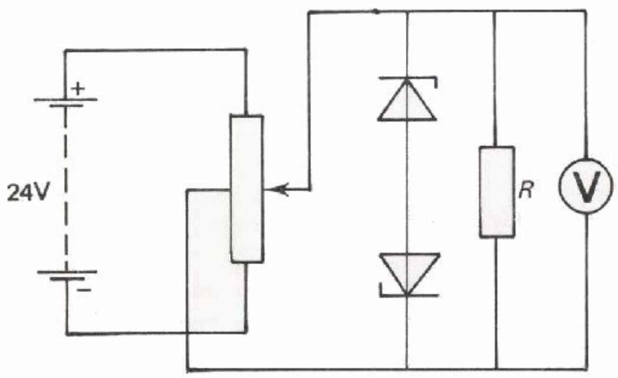
I_1 = [ ] mA I = [ ] mA I_V = [ ] mA

Als U = 10 V, dan is:

U_{AB} = [ ] V U_{TA} = [ ] V

I_1 = [ ] mA I = [ ] mA I_V = [ ] mA

3.



- Door de potentiometer-arm omhoog te schuiven komt op de belastingsweerstand R een positieve spanning U te staan, bij omlaag schuiven een negatieve U. Ga dit voor uzelf na.

- Als voltmeter gebruiken we er een, die zowel positieve als negatieve spanningen aan kan wijzen tot maximaal 10 V.

- Om de voltmeter te beveiligen in beide richtingen zijn twee gelijke zenerdioden in serie geschakeld aangebracht.
  Als de dioden bij U_V = 0,7 V goed gaan doorlaten, hoe groot dient hun zenerspanning dan te zijn?

U_{zener} = [ ] V

B 205

H E R H A L I N G

Het wordt tijd om nog eens kort samen te vatten wat we tot nu toe over de halfgeleiderdiode hebben geleerd. We besteden er deze les geheel aan. In de volgende krijgt u een test.

Enkele tips:

Werk deze herhalingsles grondig door.

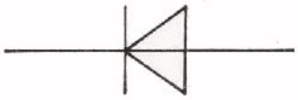
Bestudeer de samenvattingen van de voorafgaande lessen nog eens goed.

Ga na in welke oefeningen u fouten maakte en probeer vooral uit te vinden waarom u die maakte.

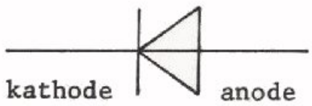
Als u iets nog niet begrijpt, vraag het dan aan uw leraar.

DE HALFGELEIDERDIODE

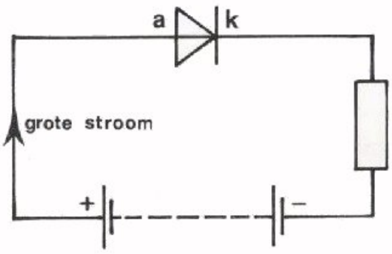
In de elektronica gebruikt men zeer vaak een component die met nevenstaand schemasymbool wordt aangeduid.
Zo'n component is een *half-geleiderdiode*.



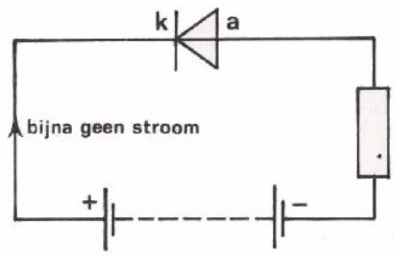
Een halfgeleiderdiode bezit een merkwaardige eigenschap; hij laat de elektrische stroom in de ene richting gemakkelijk passeren en in de andere richting bijna niet.
Een diode werkt dus als een *ventiel*. De richting waarin de stroom gemakkelijk door de diode loopt wordt aangegeven door de pijl van het symbool. Dit is de richting van *anode* naar *kathode*.



In volgende schema's is een diode op twee manieren op een batterij aangesloten.



De + kant van de batterij is op de anode aangesloten en de − kant op de kathode. De diode staat in *doorlaat-toestand*.
Er loopt een *grote stroom*.

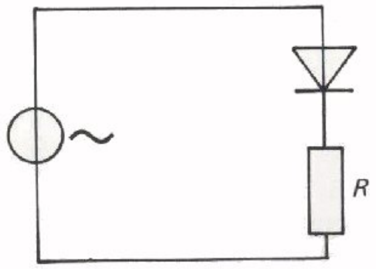


De diode is omgedraaid. Hij staat nu in *spertoestand*. Er loopt bijna *geen stroom*.

De conclusie uit het bovenstaande is dat een diode in de doorlaatrichting een zeer kleine en in de sperrichting een zeer grote weerstand heeft.

GELIJKRICHTEN

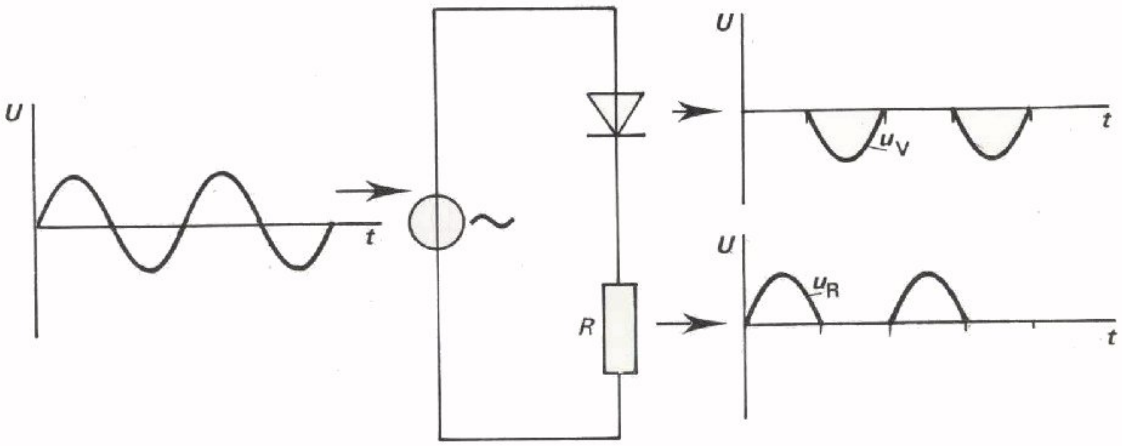
Dankzij zijn ventielwerking is een diode te gebruiken om *gelijk te richten.*



We sluiten een wisselspanning aan op een serieschakeling van een diode en een weerstand *R*.
Tijdens de ene periodehelft staat de diode in doorlaattoestand. De weerstand van de diode is zeer klein, zodat de spanning geheel over de weerstand *R* komt te staan.

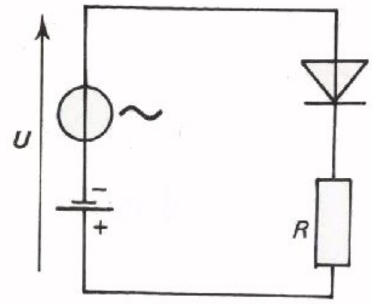
Voor de volgende periodehelft staat de diode in spertoestand. Nu is de weerstand van de diode zeer groot, zodat (bijna) de gehele spanning over de diode komt te staan en (bijna) geen spanning over de serieweerstand *R*.

Het resultaat is in volgende figuur samengevat:

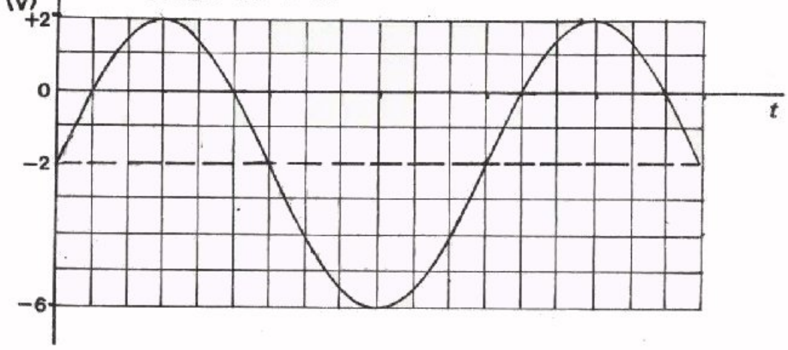


We gaan uit van een wisselspanning en krijgen over de weerstand een pulserende gelijkspanning. De negatieve helften van de sinusvormige spanning zijn "eraf gesneden".
Dit omzetten van een wisselspanning in een pulserende gelijkspanning heet *gelijkrichten.*

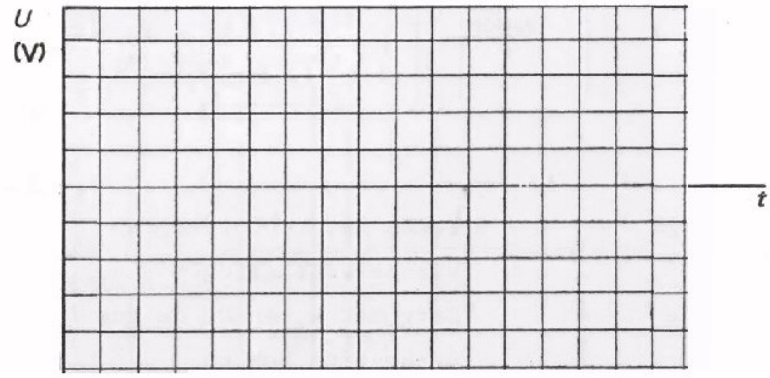
TEST UZELF



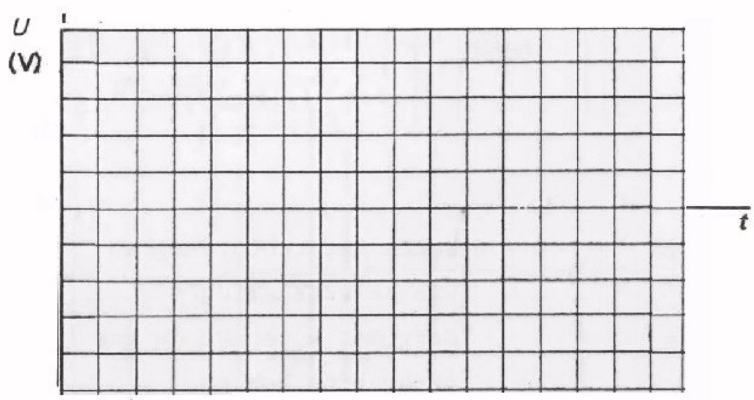
Met behulp van deze schakeling voert men aan een serieschakeling van een diode en een weerstand volgende onzuivere wisselspanning toe.
De diode is ideaal, d.w.z. er is geen drempelspanning en de eigen serieweerstand is 0 Ω.



Schets het verloop van de spanning over de diode u_V.

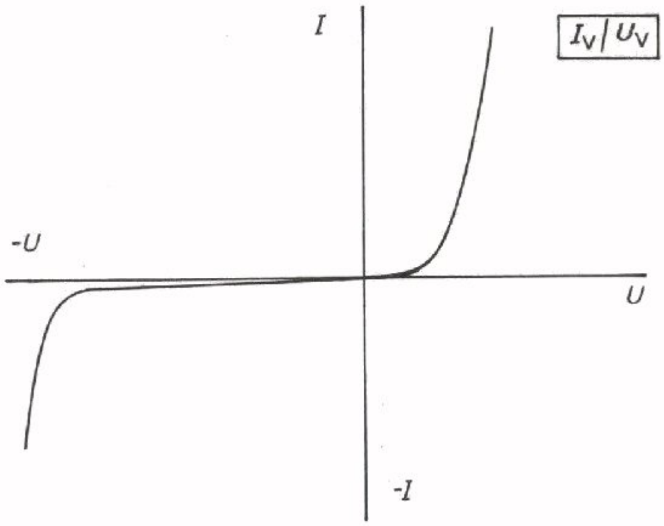


Schets het verloop van de spanning over de weerstand u_R.

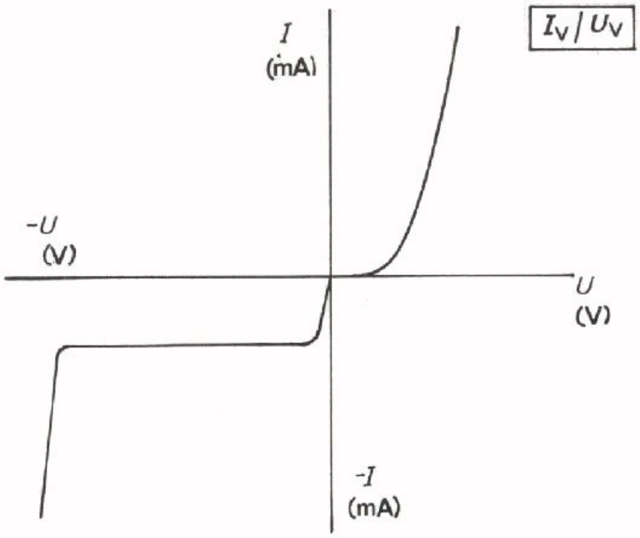


DE DIODEKARAKTERISTIEK

De eigenschappen van een diode kan men het beste zien aan zijn *karakteristiek*. Dit is een grafiek die het verband aangeeft tussen de diodespanning U_V en de stroom I_V.
De volledige karakteristiek ziet er als volgt uit:

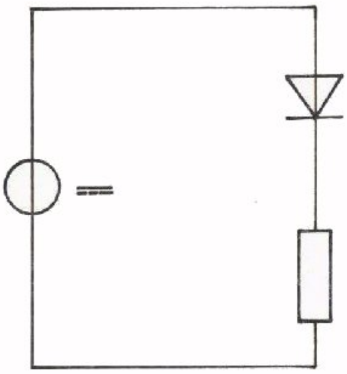


De doorlaatspanning en -stroom hebben geheel andere waarden dan de sperspanning en -stroom. Men tekent de doorlaat- en de sperkarakteristiek daarom meestal op een totaal andere schaal. Dit veroorzaakt bij de oorsprong een knik in de karakteristiek.



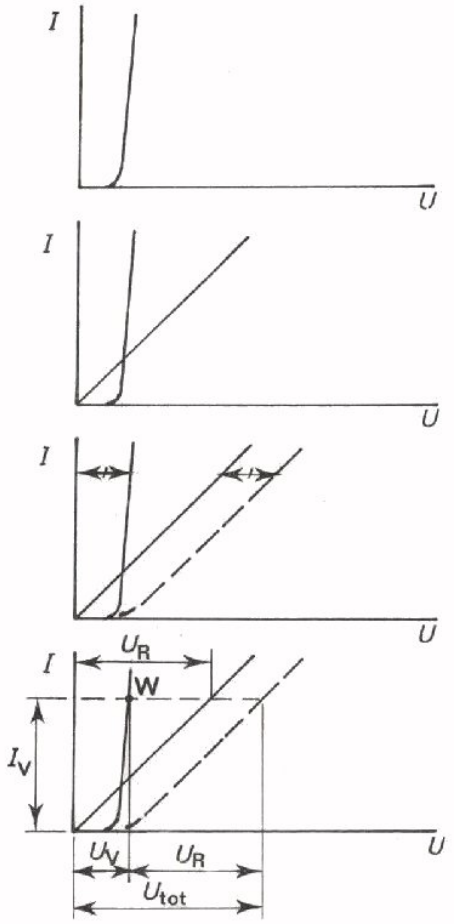
Bij een grote sperspanning neemt de sperstroom plotseling sterk toe. Deze spanning noemt men de *zenerspanning*.
Er worden speciale diodes gebruikt, de zogenaamde *zenerdioden*, waarbij de zenerspanning slechts enkele volt bedraagt.

BEPALING VAN DE DIODE-INSTELLING



De karakteristiek van een diode is "krom" of, zoals men meestal zegt, *niet-lineair*. Dit betekent dat de weerstand van een diode niet constant is, maar afhangt van de stroom en de spanning of kortweg van de *instelling*.
Wordt een niet-lineaire component in serie gezet met een weerstand, dan kan men de instelling op twee manieren vinden.
Aan beide methoden hebben we uitvoerig aandacht besteed. Hier geven we de twee "recepten" kort weer.

- Het bepalen van de instelling met behulp van de *dynamische karakteristiek*.



Teken de statische karakteristiek van de diode.

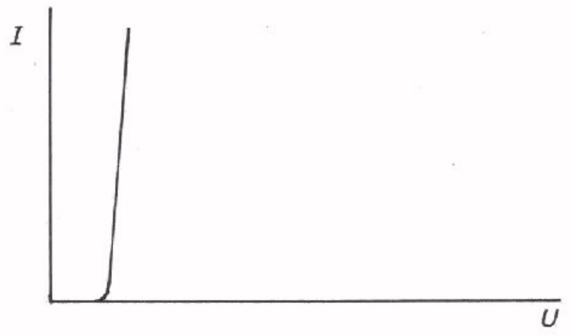
Teken in dezelfde figuur de karakteristiek van de weerstand.

Teken de dynamische karakteristiek door de spanningen van beide vorige karakteristieken, telkens voor een zelfde I-waarde, "op te tellen".

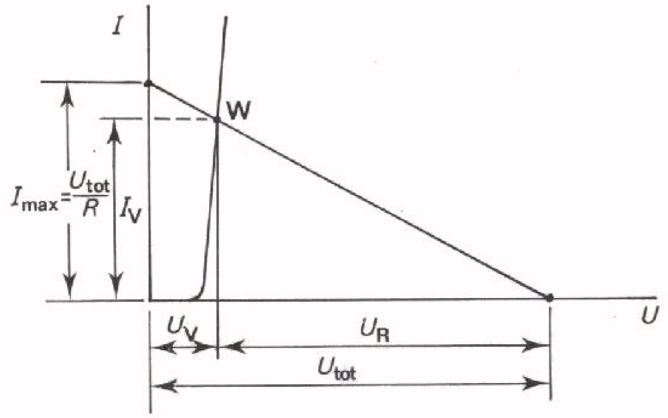
Is nu b.v. de spanning U_{tot} gegeven, dan vindt men met behulp van de dynamische karakteristiek de stroom door de serieschakeling en tevens de spanningen U_V en U_R.

Het punt dat men zodoende op de statische diodekarakteristiek vindt, heet instel- of *werkpunt*.

- Een tweede methode om de instelling te bepalen is die met behulp van de *belastinglijn*.



Men gaat weer uit van de statische karakteristiek van de gegeven diode.



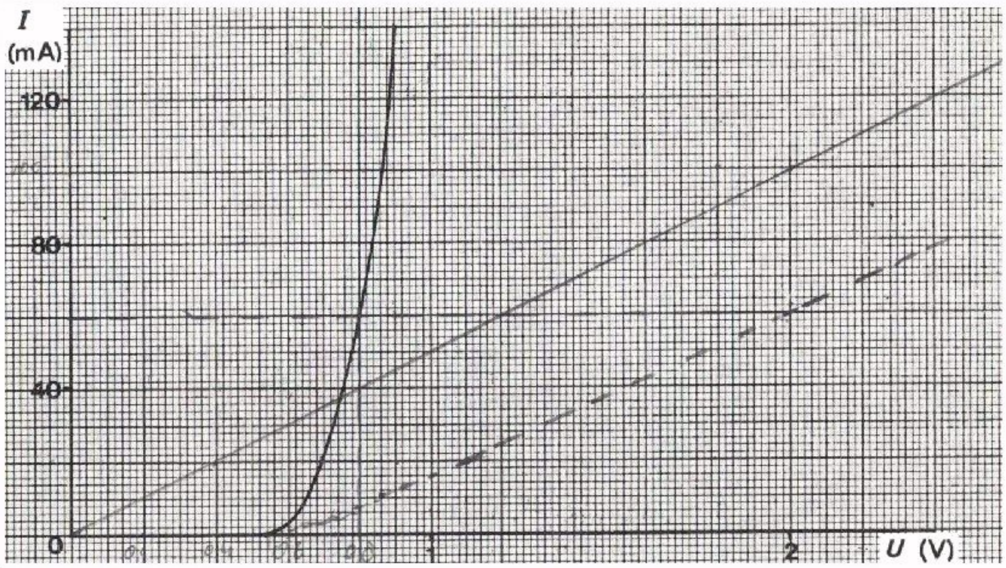
In dezelfde figuur wordt de belastinglijn getekend. Dit is een rechte lijn die loopt vanaf de totale spanning U_{tot} op de U-as naar het punt $I_{max} = \frac{U_{tot}}{R}$ op de I-as.

Het snijpunt van de diodekarakteristiek en de belastinglijn geeft het werkpunt W.

Uit de figuur leest men direkt de stroom I_V door de serieschakeling en de spanningen U_V en U_R af.

TEST UZELF

Een diode is in serie met een weerstand van 20 Ω aangesloten op een gelijkspanning van 2 V. In volgende figuur is de statische karakteristiek van de diode gegeven.

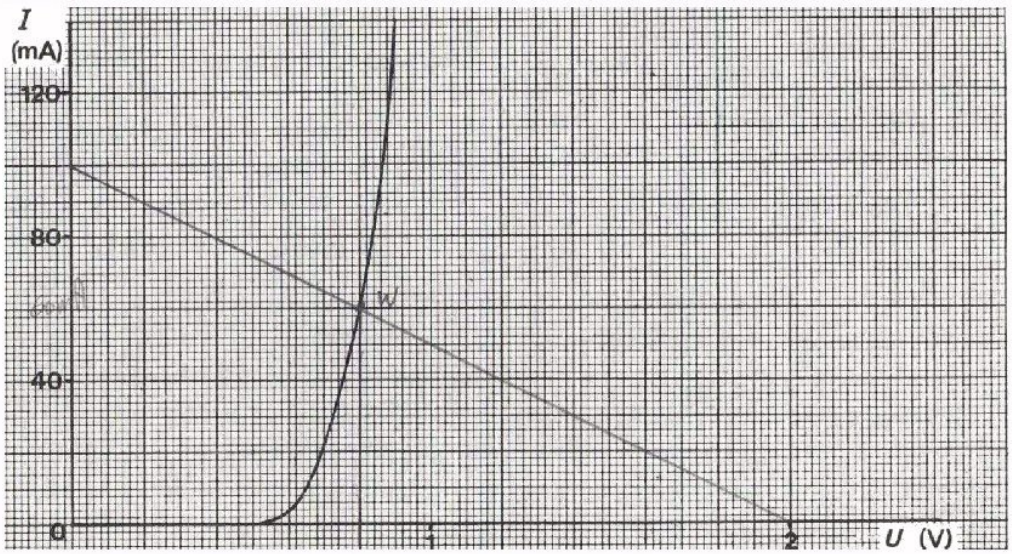


Teken in deze figuur de dynamische karakteristiek van de serieschakeling en bepaal de spanning over de diode en die over de weerstand.

U_V =

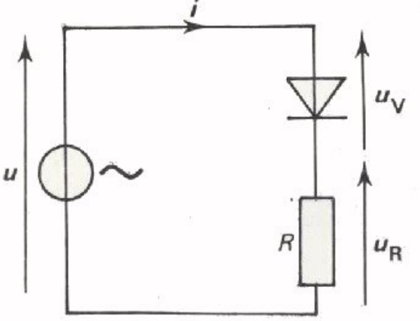
U_R =

Hier is dezelfde statische karakteristiek nogmaals getekend. Bepaal dezelfde spanningen nogmaals, maar nu door middel van de belastinglijn.

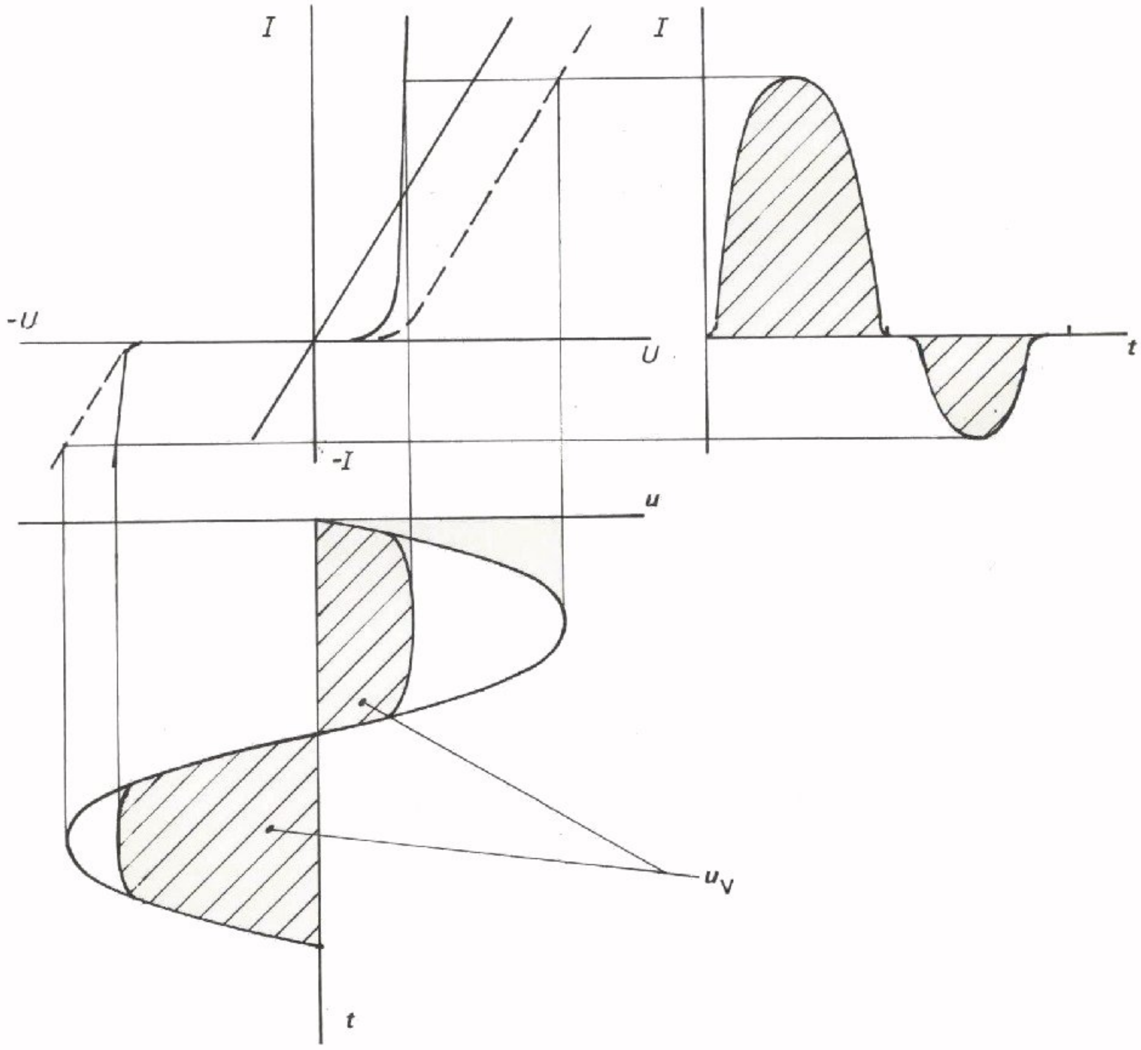


U_V = U_R =

VERWERKING VAN WISSELSPANNING DOOR EEN DIODE



Hoe een serieschakeling van een diode en een weerstand wisselspanning verwerkt kan men met behulp van de dynamische karakteristiek duidelijk inzien. Hieronder is dit nog eens volledig weergegeven.



Ga voor uzelf na of u dit geheel inziet.
Zijn er nog onduidelijke punten, vraag dan om nadere uitleg.

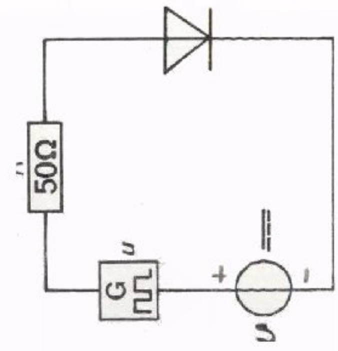
TEST UZELF

Op volgend blad is een diodeschakeling gegeven met een weerstand van 50 Ω. Toegevoerd wordt een gelijkspanning U tezamen met een zuivere wisselspanning u.

De diodekarakteristiek en de totaal toegevoerde spanning $U + u$ zijn grafisch gegeven.

- Bereken en teken de weerstandlijn en de dynamische diodekarakteristiek.
- Construeer de diodestroom die er gaat lopen.
- Bepaal de grootte van U en zet de + en de - bij  in het schema.

U = | V |

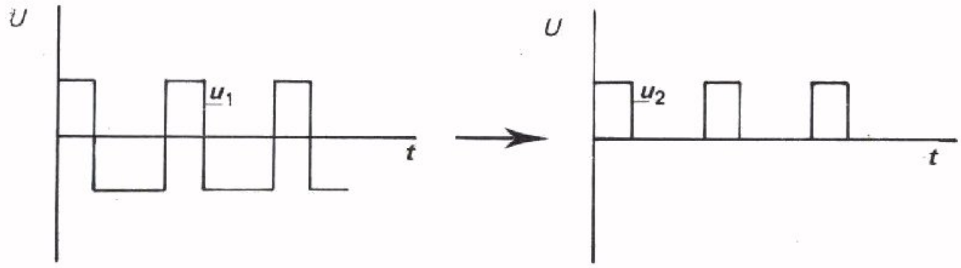

50Ω
G
+

WAT KAN MEN MET EEN DIODE DOEN?

Een diode is te gebruiken in volgende gevallen:

- *Gelijkrichting*

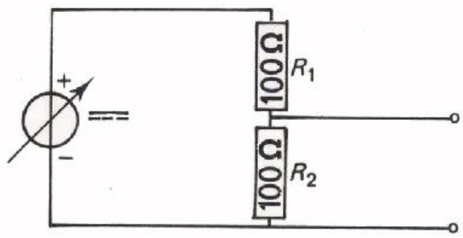
  Een wisselspanning wordt omgezet in een pulserende gelijkspanning.
  Voorbeeld:



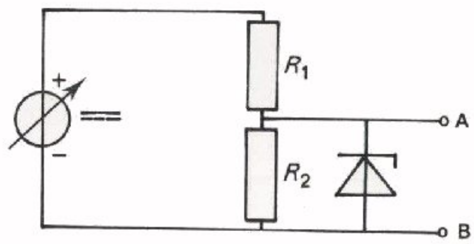
Op blad B205-3 zijn we hier uitvoerig op ingegaan.

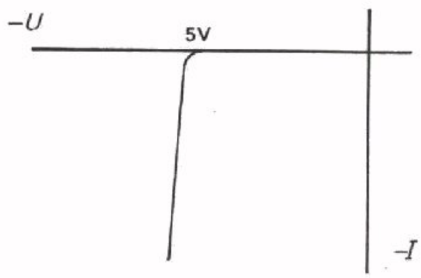
- *Stabilisatie*

  Veronderstel eens dat we een gelijkspanning hebben die sterk varieert; in deze schakeling bijvoorbeeld tussen 10 en 20 V. De spanning over de weerstand R_2 varieert dan tussen 5 en 10 V.



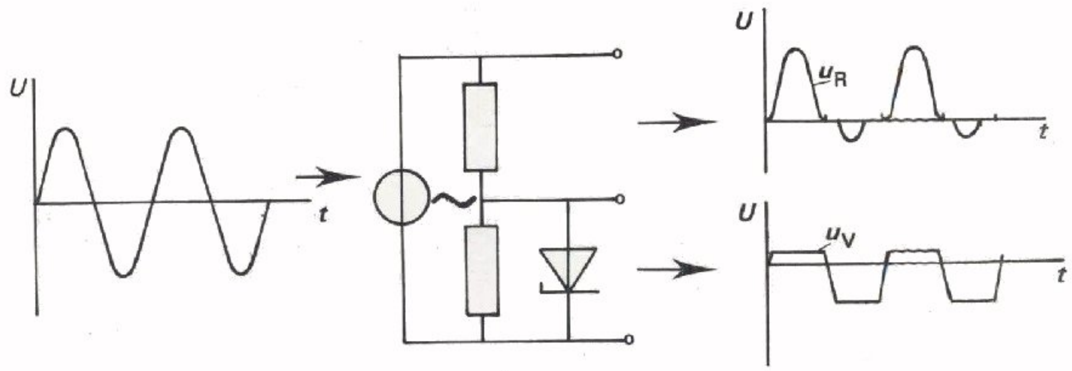
Door nu parallel aan R_2 een geschikte diode te schakelen kan men de spanning over R_2 nagenoeg constant houden (= stabiliseren). Kiest men in dit geval een zenerdiode van 5 V, dan komt de spanning tussen de punten A en B niet boven ongeveer 5 V uit.



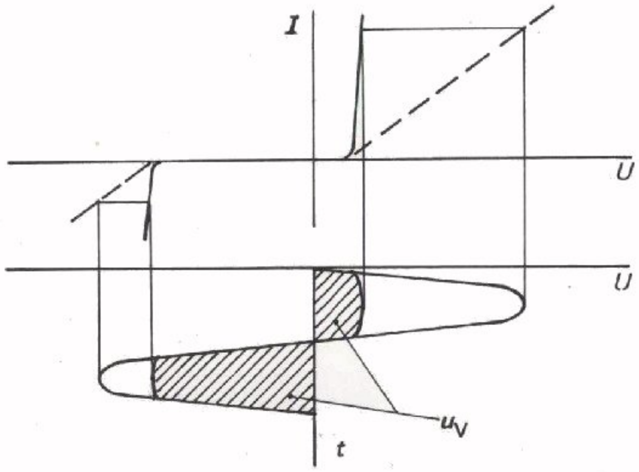


- *Begrenzing*

  Van een wisselspanning worden bijvoorbeeld de beide toppen "afgehakt".

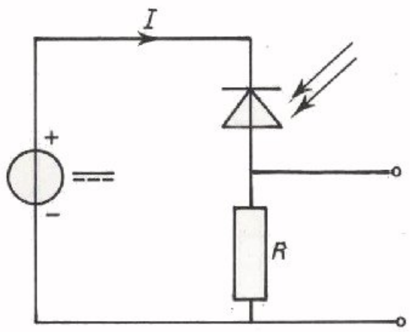


Het afsnijden van de toppen is als volgt met behulp van de karakteristiek in te zien.



- *Als lichtgevoelige component*

  Als er licht valt op een niet afgeschermde diode, neemt de sperstroom toe.

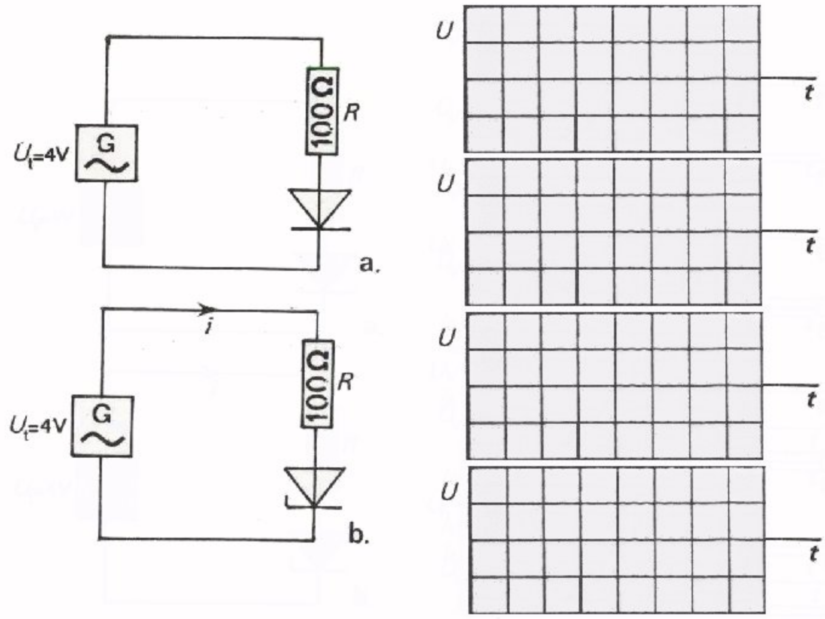


In dit voorbeeld neemt de spanning over de weerstand toe, als er licht op de foto-diode valt.
De toenemende spanning $R.I$ kan men als signaal gebruiken om bijvoorbeeld een telmechanisme in werking te stellen.

- *Als capaciteitsdiode*

  Bij aansluiting van een sperspanning op een diode neemt de capaciteit van de diode af omdat de grenslaag breder wordt.

TEST UZELF



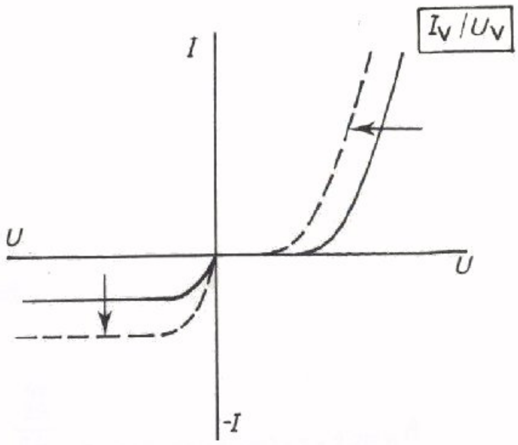
In figuur a is in een gelijkrichtschakeling een gewone siliciumdiode opgenomen; in figuur b een silicium-zenerdiode.
Schets voor beide figuren globaal het verloop van de spanning U_V en U_R in het bijbehorend assenstelsel.

Van de zenerdiode in figuur b is hieronder de I_V-U_V-karakteristiek precies getekend.
Construeer nu nauwkeurig de spanning U_V en de stroom I_V.

Hoe groot zijn I_{t+} en I_{t-}? I_{t+} = I_{t-} =

INVLOED VAN DE TEMPERATUUR OP EEN DIODE

De invloed van de temperatuur op een halfgeleiderdiode is het beste te zien aan de karakteristiek.



Bij temperatuurstijging schuift de doorlaatkarakteristiek ruim 2 mV per ^{0}C naar links.
De sperkarakteristiek schuift dan naar beneden.
Bij silicium verdrievoudigt $-I_V$ ongeveer per 8^{0}C temperatuurstijging.

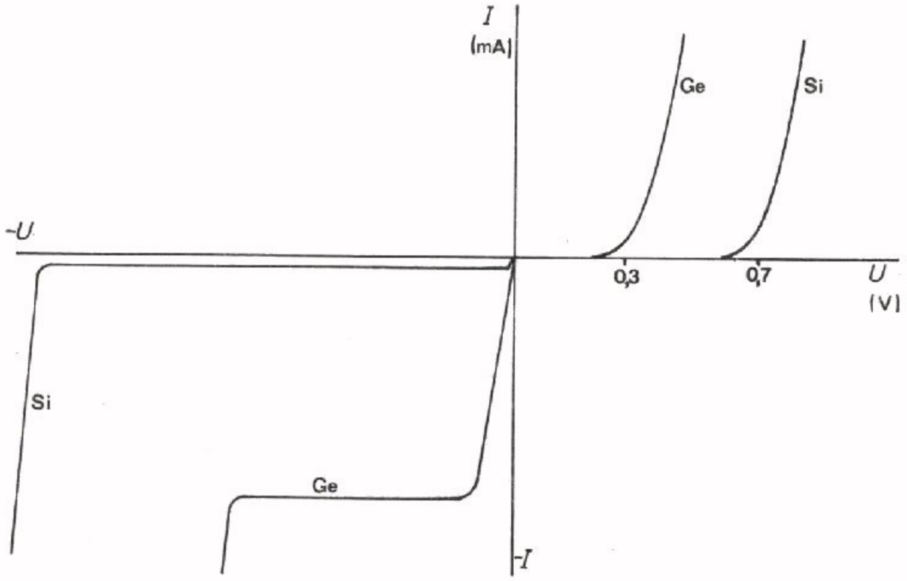
OEFENING

Bij 25^{0}C bedraagt $-I_V$ van een siliciumdiode 10 nA.
Bereken hoe groot $-I_V$ ongeveer zal zijn bij 49^{0}C.

$-I_V \approx$ [nA]

VERSCHIL TUSSEN SILICIUM- EN GERMANIUMDIODEN

De verschillen tussen een silicium- en een germaniumdiode komen tot uitdrukking in volgende karakteristieken.



Hieruit blijkt dat de sperstroom bij siliciumdiodes veel kleiner is dan bij germaniumdioden.
Verder laten siliciumdioden pas flink stroom door vanaf 0,7 V; germaniumdioden al vanaf 0,3 V.
Bovendien kan (dit hoeft niet) de zenerspanning bij siliciumdioden veel groter zijn.